

СИГНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

01. АКУСТИКА

ОТДЕЛЬНЫЙ ВЫПУСК

Главный редактор
акад. О.В. Руденко, Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

Рубрикация:
Д.Л. Расторгуев, Акустический институт им. Н.Н. Андреева

Издается с 2013 г.

№ 05

Выходит 6 раз в год

Москва 2021

Библиография

21.05-01.1К Неравновесная акустика. *Шлёнский О.Ф., Антонов С.И., Хищенко К.В.* 2021, 124 с. Рус. ISBN 978-5-907104-41-9

Предложена модель распространения звука и ударных волн с учетом массовых сил, анизотропии свойств газа, приобретаемой при возбуждении генератором, и релаксационных процессов перехода к равновесному состоянию. Внесены коррективы и дополнения в теорию звуковых волн для повышения качества

проектирования акустических объектов, устройств и инструментов, точности моделирования гиперзвуковых и детонационных процессов.

21.05-01.2 VI Съезд биофизиков России. *Биофизика.* 2019. 64, № 3, с. 624-624. Рус.

21.05-01.3 VI Съезд биофизиков России. *Различенко Г.Ю., Анашкина А.А., Нечипуренко Ю.Д., Рубин А.Б.* *Биофизика.* 2021. 66, № 1, с. 195-208. Рус.

Персоналии

21.05-01.4 Первые советские эксперименты по дистанционному зондированию и контактными исследованиями Луны (к 50-летию посадки на Луну самоходного аппарата “Луноход-1”). *Ведешин Л.А.* *Исследование Земли из Космоса.* 2021, № 1, с. 89-91. Рус.

DOI: 10.31857/S0205961421010103.

21.05-01.5 Россия—США: 50 лет сотрудничества в космосе (итоги научно-технического сотрудничества с США по программе “Интеркосмос”). *Ведешин Л.А.* *Исследование Земли из Космоса.* 2021, № 3, с. 94-96. Рус.

DOI: 10.31857/S0205961421030088.

21.05-01.6 Игорь Станиславович Веселовский (17.12.1940—30.12.2020). *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 3, с. 288-288. Рус.

21.05-01.7 Памяти Пустовойта Владислава Ивановича. *Физические основы приборостроения.* 2021. 10, № 2, с. 2-11. Рус.

21.05-01.8 Нашему журналу 55 лет. *Редколлегия.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 3. Рус.

DOI: 10.31857/S0568528121060177.

21.05-01.9 Академик Галеев Альберт Абубакирович. *Физика плазмы.* 2021. 47, № 1, с. 95-96. Рус.

21.05-01.10 Сергей Николаевич Багаев (к 80-летию со дня рождения). *Балега Ю.Ю., Жеребцов Г.А., Кульчин Ю.Н., Кведер В.В., Латышев А.В., Литвак А.Г., Матвеев В.А., Месяц Г.А., Нигматуллин Р.И., Ратахин Н.А., Сергеев А.М., Шалагин А.М.* *УФН.* 2021. 191, № 10, с. 1123-1124. Рус.

21.05-01.11 Евгений Андреевич Виноградов (к 80-летию со дня рождения). *Багаев С.Н., Забродский А.Г., Задков В.Н., Каплянский А.А., Кведер В.В., Колачевский Н.Н., Месяц Г.А., Наумов А.В., Салихов К.М., Суриц Р.А., Шалагин А.М., Щербаков И.А.* *УФН.* 2021. 191, № 10, с. 1125-1126. Рус.

21.05-01.12 Вадим Вениаминович Бражкин (к 60-летию со дня рождения). *Арсеев П.И., Виноградов Е.А., Кведер В.В., Литасов К.Д., Муртазаев А.К., Пудалов В.М., Рыжов В.Н., Садовский М.В., Стрельцов С.В., Суриц Р.А., Суворцев Н.В., Щербаков И.А.* *УФН.* 2021. 191, № 10, с. 1127-1128. Рус.

Классические проблемы линейной акустики и теории волн

Математическая теория распространения волн

21.05-01.13 Дальнее поле трехмерной пристенной

ламинарной струи. *Бут И.И., Гайфуллин А.М., Жвиг В.В.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 51-61. Рус.

Рассматривается затопленная стационарная ламинарная струя вязкой несжимаемой жидкости, вытекающая из трубы и распространяющаяся вдоль твердой плоскости. Получено численное решение уравнений Навье—Стокса в трехмерной стационарной постановке. Подтверждена гипотеза, что поле течения на большом расстоянии от выходного сечения трубы описывается автомодельным решением параболизированных уравнений Навье—Стокса. Получены асимптотические разложения автомодельного решения при больших и малых значениях координаты в поперечном сечении струи. С помощью численного решения определен показатель автомодельности. Найдена явная зависимость автомодельного решения от числа Рейнольдса и условий в источнике струи.

21.05-01.14 О пограничном слое при обтекании полутела Рэнкина. *Королев Г.Л., Сычёв Вик.В. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 62-65. Рус.

Получено численное решение задачи для уравнения пограничного слоя Прандтля для плоского стационарного течения несжимаемой жидкости при заданном градиенте давления. Этот градиент определяется известным решением Рэнкина, которое описывает обтекание полутела. Контур последнего получается путем наложения однородного потока на течение от точечного источника. Установлено, что в решении задачи для уравнения пограничного слоя точки нулевого поверхностного трения не возникает — рассмотренное течение является безотрывным.

21.05-01.15 Сдвиговые деформации как способ получения композитной структуры Al-Cu: атомистическое моделирование. *Полякова П.В., Баимова Ю.А. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2020. 17, № 4, с. 419-423. Рус.

Одним из важных направлений исследования в последние годы является поиск способов получения in-situ композитов, которые формируются в процессе обработки отдельных слоев металла естественным образом. Твердость подобных систем в значительной степени зависит от формирования прочных интерметаллидных фаз, что происходит уже на стадии обработки. Именно поэтому исследователей особенно привлекают подобные соединения, в частности композиты, полученные на основе алюминия и меди, которые хорошо показали себя в практическом применении, например в авиастроении. Однако, не все эксперименты позволяют детально изучить формирование структуры на атомистическом уровне, из-за чего исследователи все чаще прибегают к различным методам моделирования, одним из которых является метод молекулярной динамики, позволяющий детально проанализировать особенности структурных и фазовых превращений. В данной работе методом молекулярной динамики исследовано перемешивание атомов по поверхности композита Cu-Al. Композит был получен из отдельных пластин Al и Cu посредством воздействия одновременно сжимающих и сдвигающих компонент деформации, что является имитацией кручения под высоким давлением. Экспериментальные данные подтверждают возможность получения нескольких твердых интерметаллидных фаз в процессе такой обработки. Из карты напряжений видно, что сдвиговые деформации способствуют более равномерному распределению напряжений и соответственно более быстрому перемешиванию атомов на границе. Следующим этапом, облегчающим диффузию атомов, является отжиг при 450°C. Показано, что данный способ обработки значительно ускоряет формирование композита, имеющего прочную интерметаллидную структуру.

21.05-01.16 Сходимость метода Галеркина решения нелинейной задачи о собственных модах микродисковых лазеров. *Репина А.И. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки.* 2021. 163, № 1, с. 5-20. Рус.

Рассмотрен метод численного решения задачи на собственные значения для уравнения Гельмгольца на плоскости, моделирующей лазерное излучение двумерных микродисковых резонаторов. Метод Галеркина применен к нелинейной задаче на собственные значения для голоморфной фредгольмовой оператор-функции, к которой сводится исходная краевая задача. Доказательство сходимости метода и оценки точности аппроксимации

собственных значений основаны на общих результатах теории голоморфных оператор-функций и теории приближенных методов в проблеме собственных значений с нелинейным вхождением параметра.

21.05-01.17 О происхождении цепочек каверн во вращающемся потоке между цилиндрами. *Амромин Э.Л. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 1, с. 1645-1648. Рус.

Кавитация между вращающимся и неподвижным цилиндрами возникает в виде цепочки пузырьков. Размеры пузырьков практически одинаковы, равно как и расстояния между пузырьками и их азимутальное расположение. Хотя такая форма кавитации наблюдалась в многочисленных экспериментах (в частности, в экспериментах с подшипниками), ее природа не была выяснена. Проведенный анализ показывает, что нарушение осевой симметрии потока из-за смещения оси одного из цилиндров приводит к регулярным волнообразным трехмерным возмущениям потока. Их "длина волны" определяется минимальным зазором между цилиндрами. Хотя течение между цилиндрами не является безвихревым, эти возмущения можно определить с помощью потенциала скорости. Ключевые слова: кавитация, круговые цилиндры, несоосные цилиндры, невязкий поток.

Упругие волны в твердых телах

21.05-01.18 Теоретические аспекты применения волн Похгаммера—Кри к задачам определения динамического коэффициента Пуассона. *Гаджибеков Т.А., Ильяшенко А.В. Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 5, с. 113-126. Рус.

Анализируются теоретические аспекты применения акустических волн Похгаммера—Кри в неразрушающей диагностике. Основное внимание уделяется продольным аксиально симметричным гармоническим модам. Впервые дается анализ дисперсионных кривых для стержней, выполненных из ауксетиков (материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона). Получены дисперсионные кривые в окрестности второй предельной скорости, обнаруживающие чувствительность значений второй предельной скорости к вариации коэффициента Пуассона.

21.05-01.19 Структуры разрывов в решениях уравнений, описывающих продольно-крутильные волны в упругих стержнях. *Куликовский А.Г., Чугайнова А.П. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 49-52. Рус.

Изучаются структуры разрывов (с учетом вязкости) в решениях гиперболической системы уравнений, описывающих связанные продольно-крутильные волны в упругих стержнях. Обнаружены условия существования особых разрывов, а также условия отсутствия структуры эволюционных разрывов.

21.05-01.20 Колебания слоя с расслоением в рамках градиентной теории упругости. *Ватульян А.О., Явруян О.В. Дефектоскопия.* 2021, № 10, с. 3-15. Рус.

Рассмотрена прямая задача об антиплоских колебаниях слоя с расслоением в рамках градиентной теории упругости. В качестве математической модели взята градиентная модель, предложенная Айфантисом. Основное внимание уделено анализу механических полей на берегу трещины и в ее вершинах — концентраторах напряжений. Исследование проведено с использованием метода граничных интегральных уравнений (ГИУ). Построено ГИУ относительно градиента поля перемещений на трещине. Проведен анализ построенного ГИУ, выявлена явным образом кубическая сингулярность. Решение сингулярного ГИУ построено с использованием аппроксимирующих полиномов Чебышева. Проведено исследование для трещин малой относительной длины — асимптотический подход, получены простые полуаналитические выражения для построения функции раскрытия трещины, выявлен диапазон работоспособности асимптотического подхода. Построены поля напряжений в окрестности вершин трещины. Представлены численные результаты вычислительных экспериментов.

21.05-01.21 Метод обработки акустической инфор-

мации для контроля состояния клапанов газоочистного оборудования. *Мартюгов А.С., Ершов Е.В., Варфоломеев И.А., Богачев Д.В., Виноградова Л.Н. Дефектоскопия*. 2021, № 10, с. 16-24. Рус.

Предложен способ реализации акустического контроля состояния клапанов газоочистного оборудования с применением пошаговой модели распознавания акустических событий. Кроме того, определены основные признаки типовых сбоев в работе клапанов и разработана система их распознавания. Использование разработанной модели позволяет купировать 15% отказов оборудования при 5,1% случаев ложноположительных прогнозов.

21.05-01.22 Диагностика вибрационного состояния роторов двухконтурного турбореактивного двигателя с применением фазочастотной характеристики, полученной без использования датчика положения вала. *Звонарев С.Л., Зубко А.И., Зубко А.А. Дефектоскопия*. 2021, № 10, с. 25-34. Рус.

Рассматриваются теоретические и практические подходы к построению фазочастотных характеристик двухконтурного турбореактивного двигателя (ТРДД) и приводятся результаты проведенных экспериментов. Новизна работы заключается в использовании фазы вибрации для диагностики технического состояния роторов ТРДД и исключение применения для построения фазочастотной характеристики роторов информации от датчика его начального положения. Для определения мгновенного значения фазы колебаний ротора используется метод орбитального анализа вибрации. Применение анализа изменения фазы колебаний позволяет определять наличие резонансных процессов, а также дефекты и неисправности, вызывающие изменения параметров жесткости и демпфирования ротора. Приводятся примеры диагностирования ТРДД с помощью анализа фазочастотных характеристик.

Волноводы, волны в трубах и направляющих системах

21.05-01.23 Положения динамического равновесия изогнутого трубопровода с вибрирующими опорами. *Ильгамов М.А., Шакирьянов М.М. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2021. 496, № 1, с. 55-59. Рус.

Определяются области притяжения прогиба к верхнему и нижнему равновесным положениям двухопорного трубопровода при его пространственных колебаниях. Предполагается, что опоры совершают вертикальные высокочастотные колебания с равными амплитудами и фазами. Используются нелинейные уравнения изгиба и углового движения трубопровода вокруг оси, проходящей через опоры. Для решения задачи применяется теория движения маятника Капицы. Установлено, что преобладающее влияние на изгиб внутреннего давления среды в трубопроводе над его весом и превышение момента сил вибрации опор над моментом сил гравитации обуславливают наличие верхнего и нижнего равновесных положений и соответствующих областей притяжения.

21.05-01.24 О влиянии макро-, микро- и наночастиц на турбулентность несущего газа. *Вараксин А.Ю. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2021. 497, № 1, с. 36-39. Рус.

С использованием двухпараметрической модели турбулентности для двухфазного потока впервые получено соотношение, учитывающее все основные механизмы влияния частиц на турбулентность газа. Найденное выражение позволяет проводить анализ влияния частиц на энергию турбулентности несущей фазы в широком диапазоне изменения инерционности последних. Показано, что турбулизующий эффект предельно малоинерционных частиц (наночастицы) сменяется ламинаризирующим эффектом малоинерционных частиц (микрочастицы), а затем снова сменяется на турбулизующий вследствие дополнительной генерации турбулентности в следах за крупными частицами (макрочастицы).

21.05-01.25 О сущности "черных дыр" для упругих волн в телах с пикообразными заострениями. *Наза-*

ров С.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 498, № 1, с. 57-61. Рус.

Эффект "черной дыры" для упругих волн, обнаруженный М.А. Мироновым и детально изученный последователями, обычно связывается с распространением упругих волн вдоль пикообразного заострения деформируемого тела, т.е. пик абсорбирует энергию упругих колебаний и не возвращает ее в массивную часть тела. Вместе с тем идеальный пик изготовить невозможно, и в реальных конструкциях его кончик затуплен. Сглаживание заострения коренным образом изменяет строение спектра: уничтожает непрерывную его компоненту, но провоцирует концентрацию частот собственных колебаний в средне-частотном диапазоне. В сообщении указаны асимптотические формулы для собственных чисел балки Кирхгофа с истончающимся концом, и на их основе разъяснен новый, фактический, механизм действия "черной дыры", а именно, затупленный пик, в котором длительное распространение волн невозможно, производит захват волн на "почти всех" частотах в достаточно широком диапазоне спектра. Улучшение качества заострения способствует усилению концентрации собственных чисел и увеличению зоны ее проявления.

21.05-01.26 Влияние одноосного механического давления на характеристики волн Лэмба и SH-волн в пластинах кристалла LiNbO₃. Influence of uniaxial pressure on the characteristics of Lamb and SH-wave propagation in LiNbO₃ crystalline plates. *Burkov S.I., Pletnev O.N., Turchin P.P., Zolotova O.P., Sorokin B.P. Журнал Сибирского Федерального университета. Математика и физика*. 2021. 14, № 1, с. 105-116. Англ.

Проведено теоретическое исследование влияния одноосного механического давления на характеристики распространения акустических волн в пластине ниобата лития. Рассчитаны коэффициенты электромеханической связи и коэффициенты управляемости при различных вариантах приложения внешнего механического одноосного давления. Ключевые слова: пьезоэлектрическая пластина, волна Лэмба, SH-волна, влияние одностороннего давления, компьютерное моделирование.

См. также 21.05-01.18

Излучение источников, импеданс, картины полей

21.05-01.27 Результаты количественного анализа высокоскоростной теневой съемки течений в ударной трубе при помощи машинного зрения и обучения. *Знаменская И.А., Дорощенко И.А., Сысоев Н.Н., Татаренкова Д.И. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2021. 497, № 1, с. 16-20. Рус.

Описаны результаты исследований нестационарных газодинамических течений в канале ударной трубы длительностью до 6 миллисекунд, полученные непрерывной высокоскоростной теневой съемкой и последующей обработкой больших данных — на основе машинного зрения (выделение границ и преобразование Хафа) и машинного обучения (сверточная нейронная сеть). Исследовалась с частотой съемки 150 тыс. к/с качественно и количественно эволюция разрывных потоков в прямоугольном канале ударной трубы за ударной волной с числами Маха от 2 до 3.5; построены зависимости угла наклона косога скачка уплотнения от времени, оценено время выхода течений на дозвуковой режим. Показана возможность проведения исследований в газодинамике на основе анализа больших данных цифровой съемки с помощью предложенного подхода.

Численные методы, компьютерное моделирование

21.05-01.28 Разностная схема численного решения уравнения Бюргерса. *Марков В.В., Утесин В.Н. Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2020. 60, № 12, с. 2050-2054. Рус.

Представлена конечно-разностная схема второго порядка аппроксимации для численного решения одномерного уравнения

Бюргерса, разработанная на основе существующих методов. Приведено условие устойчивости, при котором шаг интегрирования по времени не зависит от величины вязкостного члена. Выполнено сравнение результатов численного расчета с точным решением уравнения Бюргерса.

21.05-01.29 Об одном факторе реламинизации возмущенного вихревого потока. *Литанов А.М., Карсканов С.А. Химическая физика и мезоскопия.* 2021. 23, № 2, с. 190-195. Рус.

На основе прямого численного моделирования выполнены расчеты течения вязкого сжимаемого газа в цилиндрическом сопле с резким расширением. Интегрирование уравнений Навье—Стокса выполнено с помощью алгоритмов высокого порядка аппроксимации. Задавались различные граничные условия на твердой стенке сопла. В первом случае на границе ставилось условие непротекания, во втором — условие вдува. Показано, что вдув газа исключает завихрения потока в трубе. Кроме того, поступление газа через стенку в полость сопла увеличивает массу газа, что приводит к ускорению потока и к его реламинизации.

Методы измерений и инструменты

21.05-01.30 Экспериментальное обоснование применимости линейной теории устойчивости к затопленной струе. *Зайко Ю.С., Гареев Л.Р., Чичерина А.Д., Трифонов В.В., Веденев В.В., Решмин А.И. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 44-48. Рус.

Экспериментально получена затопленная струя воздуха круглого поперечного сечения диаметром 0.12 м с длинным ламинарным участком (не менее пяти диаметров струи) при числе Рейнольдса 5400. В рамках линейного анализа устойчивости обнаружены две ветви растущих возмущений, генерируемые тремя точками перегиба на профилях скорости струи, получаемой экспериментально. Определены диапазоны частот растущих возмущений, их скорости роста и длины волн. Проведены эксперименты по внесению контролируемых возмущений в струю с длинным ламинарным участком. Характеристики волн, усиливающихся в экспериментах вследствие внесения возмущений, оказались близки к предсказаниям линейной теории устойчивости. Таким образом, экспериментально подтверждена применимость линейной теории устойчивости к затопленной струе.

21.05-01.31 Ультракомпактный флуоресцентный лидар на базе диодного лазера (405 нм, 150 мВт) для зондирования акваторий и подстилающей с квадрокоптера. *Гришин М.Я., Леднёв В.Н., Першин С.М., Капранов П.О. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 3-6. Рус.

Разработан ультракомпактный (~300 г) флуоресцентный лидар на базе диодного лазера (405 нм, 150 мВт) и дифракционного миниспектрометра с линейкой фотодиодов. Натурный эксперимент по зондированию растительности с квадрокоптера показал перспективность автономного мониторинга больших площадей для раннего обнаружения очагов поражения посевных угодий.

21.05-01.32 Изменение скорости ультразвука в процессе растяжения сплава Fe-Cr-Ni при температурах 180—318 К. *Баранникова С.А., Колосов С.В., Никонова А.М. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 3, с. 47-53. Рус.

Приведены исследования механических характеристик и изменения скорости распространения ультразвука (волн Рэлея) при пластической деформации сплава Fe-Ni-Cr в интервале температур $180 \leq T \leq 318$ К. Реализация метода измерения скорости волн Рэлея заключалась в периодической генерации прямоугольных импульсов длительностью 100 нс на входе излучающего пьезопреобразователя и регистрации прошедшей по образцу волны посредством приемного пьезопреобразователя, подключенного к цифровому осциллографу. Установлено, что понижение температуры исследуемого сплава изменяет не только тип деформационной кривой при одноосном растяжении, но и меняет характер зависимости скорости ультразвука

от деформации и напряжений, связанных с ростом мартенситной α' -фазы, образованной в результате γ - α' -фазового превращения.

21.05-01.33 Зависимость отношения квадратов скоростей акустических волн в твердых телах от параметра Грюнайзена. *Сандитов Д.С., Бадмаев С.С., Машанов А.А. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 5, с. 32-37. Рус.

Установлено, что в формулах Леонтьева и Беломестных—Теслевой для параметра Грюнайзена правые части равенств зависят от ангармонизма через отношения квадратов скоростей акустических волн (v_L^2/v_S^2) и параметра Грюнайзена γ . Теоретическая зависимость (v_L^2/v_S^2) от γ в целом согласуется с экспериментальными данными как для кристаллов, так и для стеклообразных твердых тел. Величина (v_L^2/v_S^2) оказывается однозначной функцией отношения тангенциальной и нормальной жесткостей межатомной связи.

21.05-01.34 К вопросу о повышении точности эхолокационных средств измерения уровня разделения сред в резервуарах. *Ашанин В.Н., Мельников А.А., Исаев С.Г., Цуриков С.А. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* 2021, № 3, с. 78-87. Рус.

Актуальность и цели. При коммерческом учете задача точно измерения уровня жидких и сыпучих материалов, хранимых и перевозимых в резервуарах, является весьма актуальной. Целью работы является анализ способов уменьшения влияния параметров среды распространения ультразвука на точность измерения эхолокационных уровнемеров и разработка рекомендаций по совершенствованию предложенного способа и устройства измерения уровня. Материалы и методы. Экспериментальные и теоретические исследования ранее предложенного авторами способа и микропроцессорного устройства измерения уровня разделения сред в резервуарах показали наличие методической погрешности, определяемой радиальным распространением ультразвуковой волны в газовой среде при отражении от границ разделения сред и элементов конструкции резервуара. Анализ пути распространения отраженной и переотраженной ультразвуковых волн в резервуаре заданной конструкции показал наличие методической погрешности, которая может быть исключена введением поправки в цифровой форме в результат измерения. Результаты. Рассмотрены известные методы повышения точности ультразвуковых измерителей уровня. Предложена микропроцессорная реализация уровнемера, отличающаяся независимостью скорости распространения ультразвуковой волны от параметров газовой среды резервуара, что обеспечивает высокие метрологические характеристики при относительно простой аппаратной реализации. Это позволяет использовать разработанный уровнемер при коммерческом учете различных жидких и сыпучих материалов в резервуарах. Выводы. Введение поправки в цифровой форме в результат измерения, учитывающей конструктивные параметры резервуара и радиальное распространение ультразвуковой волны при отражении от поверхностей контролируемого вещества и элементов конструкции резервуара, обеспечивает высокие метрологические и эксплуатационные характеристики разработанного микропроцессорного уровнемера.

21.05-01.35 Эксперименты по подавлению интенсивных колебаний жидкости плавающей пластиной. *Калиниченко В.А. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 74-83. Рус.

Обсуждаются результаты экспериментов по влиянию плавающей тонкой пластины из пенополиэтилена на процесс разрушения и регуляризацию стоячей гравитационной волны Фарадея на свободной поверхности воды в прямоугольном сосуде. Показано, что наличие пластины приводит к регуляризации волн с подавлением механизмов их разрушения. Рассмотрены эффект увеличения толщины пластины на предельную крутизну регулярной изгибно-гравитационной волны и ее диссипативные свойства. Получено критическое значение толщины пластины, отвечающее максимальной крутизне волны. При толщине пластины ниже этого значения колебания гидроупругой системы определяются гравитационными волнами, при больших толщинах — волнами изгибными. Выявлен неэкспоненциальный ха-

раक्टर затухания изгибно-гравитационных волн.

21.05-01.36 Метод формирования асинхронных автоколебаний в механической системе с двумя степенями свободы. *Климина Л.А. Прикл. мат. и мех.* 2021, 85, № 2, с. 152-171. Рус.

Рассматривается автономная неконсервативная механическая система с двумя степенями свободы. В системе присутствует управление в форме обратной связи с двумя коэффициентами усиления. Требуется подобрать значения этих коэффициентов таким образом, чтобы сформировать в системе асинхронные автоколебания с определенными свойствами. Предложен итерационный алгоритм поиска соответствующих коэффициентов усиления. Он основан на построении вспомогательных систем второго порядка и формировании предельных циклов этих систем при помощи подхода, опирающегося на критерий Андронова—Понтрягина, но не требующего наличия малого параметра. Эффективность подхода проиллюстрирована на примере задачи о формировании асинхронных автоколебаний/авторотаций в модели аэродинамического маятника. Обсуждаются условия применимости алгоритма и возможные модификации. Ключевые слова: асинхронные автоколебания, автономная неконсервативная система, управление, итерации, усреднение, критерий Андронова—Понтрягина, аэродинамический маятник DOI: 10.31857/S0032823521020065.

21.05-01.37 Определение типа отражателя по амплитудам бликов изображений, восстановленных по разным акустическим схемам. *Вазулин Е.Г., Вопилкин А.Х., Тихонов Д.С. Дефектоскопия.* 2021, № 4, с. 3-12. Рус.

В ультразвуковой дефектоскопии разработаны методы регистрации и анализа эхосигналов для определения типа отражателя и его размеров. Метод цифровой фокусировки антенной (ЦФА) позволяет восстановить изображение всей границы несплошности, используя эхосигналы, отраженные от дна объекта контроля с учетом трансформации типа волны. Однако такой подход не всегда применим на практике, так как форма дна объекта контроля может быть неизвестной. Используя особенности поведения коэффициента отражения для разных типов волн можно по изображениям только на прямом луче сделать заключение о типе отражателя. Численные и модельные эксперименты подтвердили работоспособность предложенного подхода.

21.05-01.38 Исследование выявляемости поверхностных объемных дефектов при ультразвуковом контроле с применением волн Рэлея, генерируемых электромагнитно-акустическим преобразователем. *Алешин Н.П., Крысько Н.В., Кусый А.Г., Скрынников С.В., Могильнер Л.Ю. Дефектоскопия.* 2021, № 5, с. 22-30. Рус.

Представлены результаты исследования выявляемости поверхностных объемных дефектов ультразвуковым методом неразрушающего контроля. Рассмотрена возможность применения для этих целей поверхностных волн Рэлея, возбуждаемых электромагнитно-акустическим преобразователем (ЭМАП). В качестве искусственных дефектов для имитации данных дефектов в образцах из низкоуглеродистой стали использовались несквозные вертикальные сверления различного диаметра и глубины. По результатам измерений построены зависимости амплитуды принимаемых сигналов от параметров сверлений. При статистической обработке результатов учтено отношение сигнал/шум при возбуждении волны Рэлея с помощью ЭМАП на бездефектных участках образцов. Для построения кривых вероятности выявления дефектов (PoD) определены оптимальные модели распределения амплитуд сигналов. В условиях проведенных экспериментов по построенным PoD-кривым сделаны выводы о минимальных размерах поверхностных объемных дефектов, выявляемых с вероятностью 90% с учетом доверительного интервала 95%, и о возможности выполнения настройки параметров ультразвукового контроля по сигналам, отраженным от вертикальных сверлений.

21.05-01.39 Ультразвуковой контроль дефектов металлических изделий сложной формы. *Ларионов В.В., Лидер А.М., Долматов Д.О., Седнев Д.А. Дефектоско-*

пия. 2021, № 5, с. 31-36. Рус.

Автоматизация является актуальным вопросом развития методов и аппаратуры ультразвукового неразрушающего контроля. Условия современного промышленного производства требуют разработки средств ультразвукового контроля, которые были бы гибкими к широкой и изменяющейся номенклатуре производимых изделий, которые, как правило, имеют сложную форму. В данной работе предложена технология ультразвуковой дефектоскопии объектов сложной формы. В рамках данной технологии предполагается использование шестиосевых роботизированных манипуляторов для обеспечения требуемого угла ввода ультразвуковых волн в объект контроля в каждой измерительной позиции. Корректная траектория движения робота в процессе сканирования обеспечивается восстановлением профиля поверхности объекта контроля методами оптической профилометрии и определением расположения объекта контроля относительно роботизированного манипулятора за счет использования электрического щупа. В рамках данной работы эффективность разработанной технологии верифицируется экспериментально.

21.05-01.40 Вероятностно-информационный подход к оценке достоверности результатов акустико-эмиссионного метода контроля и диагностики. *Буйло С.И., Буйло В.И., Чебаков М.И. Дефектоскопия.* 2021, № 5, с. 37-44. Рус.

Рассмотрены особенности количественного определения достоверности результатов акустико-эмиссионного (АЭ) метода контроля и диагностики. Установлено, что традиционное определение достоверности через вероятность попадания контролируемого параметра в некоторый интервал иногда страдает информационной недоопределенностью. Показано, что учет вероятностно-информационных аспектов оценки достоверности позволяет однозначно связать понятие достоверности результатов контроля и диагностики с количеством информации, получаемой в ходе проведения самой операции контроля или диагностики. Приведены примеры практического определения информационной достоверности результатов метода АЭ.

21.05-01.41 Анализ параметров донных сигналов в зоне сварных стыков рельсов при высокоскоростном ультразвуковом контроле. *Марков А.А., Максимова Е.А. Дефектоскопия.* 2021, № 5, с. 45-55. Рус.

Настоящие исследования являются продолжением работ, направленных на анализ параметров ультразвуковых сигналов при высокоскоростном контроле рельсов. Выполнен анализ в широком диапазоне скоростей контроля поведения амплитуд последовательностей донных сигналов в самой проблемной для бесстыкового пути зоне — зоне сварных стыков рельсов. Показано, что, начиная с определенных скоростей сканирования, в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, многие зоны сварных стыков можно отнести к непроконтролируемым участкам. Результаты исследований могут быть использованы для оптимизации конструкций искательных систем высокоскоростных диагностических комплексов и при обосновании допустимых скоростей сканирования рельсового пути.

21.05-01.42 Применение технологии Plane Wave Imaging в ультразвуковом неразрушающем контроле. *Вазулин Е.Г., Евсеев И.В. Дефектоскопия.* 2021, № 6, с. 3-16. Рус.

Восстановление изображения отражателей методом цифровой фокусировки антенной (ЦФА) наряду с такими достоинствами, как высокая разрешающая способность на всей области восстановления изображения отражателей, возможностью получать изображения с учетом отражения и трансформации типа волны от границ объекта контроля, имеет несколько недостатков: большой объем измеренных эхосигналов, большое время восстановления изображения и недостаточно высокая энергия ультразвуковых волн, вводимых в объект контроля. Метод Plane Wave Imaging (PWI) позволяет совместить преимущества технологии фазированных антенных решеток (ФАР) и ЦФА-технологии. В режиме PWI при излучении плоской волны работают все элементы антенной решетки (АР) (как в ФАР-режиме), что позволяет увеличить вводимую в объект кон-

троля энергию, а регистрируются эхосигналы всеми элементами АР (как в режиме ЦФА). Изображения отражателей восстанавливаются методом комбинационного SAFT. Для получения изображения можно использовать чисто излученных плоских волн меньше количества элементов антенной решетки, что уменьшает объем измеренных эхосигналов. Перевод расчетов в область пространственных секторов позволяет повысить скорость восстановления изображения отражателей. Модельные эксперименты показали положительные и отрицательные стороны получения изображений отражателей методом PWT по сравнению с методом ЦФА как для случая использования призмы, так и без призмы.

21.05-01.43 Определение координат отражателей в плоскости, перпендикулярной сварному соединению, по эхосигналам, измеренным преобразователями по схеме TOFD. *Базулин Е.Г., Вовилкин А.Х., Тихонов Д.С. Дефектоскопия. 2021, № 6, с. 17-25. Рус.*

Метод TOFD, широко используемый в ультразвуковой дефектоскопии, позволяет по фазе эхосигналов отличать трещину от объемного отражателя и с высокой точностью определять ее высоту. Однако метод TOFD без сканирования пьезопреобразователями поперек сварного соединения не позволяет определить смещение отражателя от центра шва, что очень важно при оценке результатов контроля. Используемые для этого сканирующие устройства имеют сложную конструкцию, цена их выше, чем у одномерных сканирующих устройств, и, главное, — значительно возрастает время контроля. Если использовать эхосигналы, отраженные от дна объекта контроля с учетом смены типа волны, то по множеству парциальных изображений, восстановленных методом цифровой фокусировки антенной, можно получить объемное изображение отражателя. Если использовать эхосигналы, измеренные в совмещенном режиме для каждого пьезопреобразователя, то можно оценить смещение отражателя поперек сварного соединения с точностью $\pm 1,5$ мм. Численные и модельные эксперименты подтвердили работоспособность предложенного подхода.

21.05-01.44 Исследование выявляемости поверхностных плоскостных дефектов ультразвуковым методом с применением волн Рэлея. *Алешин Н.П., Крысько Н.В., Скрынников С.В., Кусый А.Г. Дефектоскопия. 2021, № 6, с. 26-34. Рус.*

Рассмотрены вопросы выявления поверхностных эксплуатационных плоскостных дефектов ультразвуковым методом неразрушающего контроля с применением поверхностных волн Рэлея, генерируемых электромагнитно-акустическим преобразователем. В работе представлены экспериментальные исследования выявляемости плоскостных дефектов, которые имитировались искусственным отражателем типа «паз» с различным раскрытием, глубиной и углом наклона. Построены зависимости амплитуды сигнала от перечисленных параметров и оценен их характер. Определены оптимальные амплитудные модели для построения кривых вероятности выявления дефектов (PoD). Сделан вывод о минимальных размерах плоскостного дефекта эксплуатационного типа, выявляемого рассматриваемым методом с вероятностью 90% с учетом доверительного интервала 95%.

21.05-01.45 Об использовании параметров структурного шума при контроле поверхностными акустическими волнами Рэлея стали 20ГЛ в процессе упругопластического деформирования. *Хлыбов А.А., Углов А.Л. Дефектоскопия. 2021, № 7, с. 3-10. Рус.*

Рассматривается возможность подхода к задачам контроля закономерностей упругопластического деформирования стали 20ГЛ методом анализа структурных шумов при использовании поверхностных акустических волн Рэлея. Проанализированы различные алгоритмы математической обработки структурных шумов, используемые различными авторами. На основе современных радиотехнических приемов обработки сигналов предложены уточненные расчетные алгоритмы определения спектрально-энергетических параметров структурных шумов. Приведены результаты экспериментальной проверки предложенных алгоритмов на образцах широко распространенной в железнодорожном транспорте стали 20ГЛ. Показана доста-

точно высокая чувствительность предложенных информативных параметров структурного шума к степени пластической деформации одновременно с простотой реализации измерительной методики. Полученные результаты могут послужить основой для разработки инженерной методики оценки напряжений или степени пластической деформации материала конструкции вне зависимости от того, в каком состоянии — упругом или упругоупругом — он находится, что существенно расширяет возможности акустического метода контроля напряженно-деформированного состояния конструктивных материалов по сравнению с его велосиметрическим вариантом.

21.05-01.46 Ультразвуковой и вихретоковый контроль процесса усталостного разрушения сварных соединений из аустенитной стали. *Гончар А.В., Ключников В.А., Мишакин В.В., Аносов М.С. Дефектоскопия. 2021, № 7, с. 28-36. Рус.*

Проведены исследования процесса усталостного разрушения сварных соединений из аустенитной стали ультразвуковым и вихретоковым видами контроля. Исследовано развитие неоднородности распределения параметра акустической анизотропии в зоне термического влияния и в основном материале. В результате вихретокового контроля показано различие в интенсивности изменения фазового состава в зоне термического влияния и в основном материале. Получена линейная зависимость между амплитудой деформации цикла при регулярном режиме нагружения в области малоциклового усталости и критическим значением процентного содержания магнитной фазы в основном материале. Предложен способ оценки усталостной поврежденности материала сварных соединений в зоне термического влияния по результатам вихретокового контроля.

21.05-01.47 Исследование возможностей оценки состояния структуры металла трубопроводов, находившихся в эксплуатации, ультразвуковым методом. *Данилов В.Н., Ушаков В.М., Рымкевич А.И. Дефектоскопия. 2021, № 8, с. 3-13. Рус.*

Представлены результаты первого этапа ультразвуковых исследований структуры металла трубопроводов тепловых электростанций, находившихся в эксплуатации. Испытаниям подвергался металл марок стали: 15Х1М1Ф и Ст20 с различной наработкой (временем эксплуатации). Образцы металла подвергались металлографическому анализу, на основании данных которого (среднего размера зерна — D -, дисперсии распределения $\ln D - \sigma D$) проведен теоретический расчет параметров УЗ импульсов донного сигнала в металле. Получены количественные данные по влиянию толщины слоя контактной жидкости (зазора) между преобразователем и объектом контроля на рабочих частотах 5,0, 7,5 и 10 МГц для различных значений среднего размера зерна металла. Приведены примеры расчетных и экспериментальных импульсов и спектров сигналов для частоты 5 МГц.

21.05-01.48 Особенности проведения неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с использованием бесконтактной ультразвуковой стимуляции и лазерного вибросканирования. *Шпильной В.Ю., Вавилов В.П., Дерусова Д.А., Дружинин Н.В., Ямановская А.Ю. Дефектоскопия. 2021, № 8, с. 14-23. Рус.*

Бесконтактная ультразвуковая стимуляция является сравнительно малоисследованным способом неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов. Сочетание бесконтактной ультразвуковой стимуляции совместно с лазерным сканированием может обеспечить оценку качества изделия без внешнего воздействия на исследуемый объект. Настоящая работа посвящена исследованию ультразвуковой диагностической системы на основе совместного использования бесконтактного магнитострикционного излучателя и сканирующей лазерной доплеровской виброметрии для проведения неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов. Применение преобразователя данного типа для бесконтактной стимуляции материалов позволило обеспечить мощность, достаточную для быстрого обнаружения дефектов, а оптимизация условий проведения эксперимента повысила эффективность результатов контроля. Измерение диаграммы направленности магни-

тострикционного излучателя позволило определить особенности излучения магнитоостриктора в сборке с титановым волноводом ступенчатого типа.

21.05-01.49 К вопросу об интерпретации эхограмм ультразвукового импульсного дефектоскопа. *Мартыненко А.В., Ермаченко В.П. Дефектоскопия.* 2021, № 8, с. 24-36. Рус.

Эхограмма ультразвукового импульсного дефектоскопа рассмотрена как автосвертка акустического сигнала, излученного в нагрузку и принятого демпфированной пьезопластинкой. Реконструкция акустического сигнала позволяет определить дрейф коэффициентов отражения ультразвуковых колебаний на границах пьезопластина-нагрузка и пьезопластина-демпфер, например, при проверке пьезопреобразователей при изготовлении, в эксплуатационных условиях. Предлагается методика оценки чувствительности преобразователя.

21.05-01.50 Восстановление изображения отражателей на границе основного металла и сварного соединения с использованием ультразвуковых антенных решеток. *Вазулин А.Е., Вазулин Е.Г., Вopilкин А.Х., Тихонов Д.С. Дефектоскопия.* 2021, № 9, с. 3-17. Рус.

Предлагается эффективный способ замены зональной фокусировки антенной решеткой, традиционно используемой при автоматизированном ультразвуковом контроле сварных соединений с узкой разделкой для выявления дефектов на границе сплавления. Этот способ, основанный на применении много-схемной технологии цифровой фокусировки антенной (ЦФА), позволяет получать и анализировать высококачественные изображения отражателей. Предлагаемый метод по сравнению с зональной фокусировкой, сделанной по технологии фазированных антенных решеток (ФАР), менее чувствителен к точности позиционирования антенной решетки относительно оси шва и к изменению толщины объекта контроля, позволяет выполнять оценку высоты дефектов не по амплитудному признаку, а по размерам бликов отражателей.

21.05-01.51 Использование амплитудного анализа сигналов акустической эмиссии при циклическом и статическом нагружении стальных образцов. *Степанова Л.Н., Кутень М.М., Бобров А.Л. Дефектоскопия.* 2021, № 9, с. 18-26. Рус.

Приведены результаты амплитудного анализа сигналов дискретной акустической эмиссии от развивающихся источников типа усталостных трещин. Исследования проводили на трех группах образцов с концентраторами напряжений. Образцы были изготовлены из конструкционных низкоуглеродистых сталей обычного качества, качественной стали и низколегированной литой стали и нагружались растягивающей статической и комбинированной нагрузкой, включающей статическую и циклическую нагрузки. Установлена степенная зависимость плотности распределения амплитуды сигналов с высоким коэффициентом корреляции для источников акустической эмиссии, которая слабо изменяется на разных этапах роста трещины, за исключением стадии, предшествующей разрушению. Исследования позволили использовать амплитудное распределение сигналов для определения числа сигналов акустической эмиссии от источников типа трещин, находящихся на разном расстоянии от приемников и с учетом ослабления энергии волн.

21.05-01.52 Исследование применимости при контроле дефектов высокочастотных мод направленных волн с помощью фазированных решеток. *Ранджбар М.Дж., Содагар С. Дефектоскопия.* 2021, № 9, с. 27-34. Рус.

Для оценки поверхностных и внутренних дефектов в стальной пластине использовался метод сканирования с ультразвуковой фазированной решеткой. Моды ультразвуковых направленных волн от преобразователя с фазированной решеткой были промоделированы с использованием метода конечных элементов. Результаты экспериментов показали, что высокочастотная мода А0 дает приемлемую чувствительность и разрешение для малых диаметров сквозных дефектов и поверхностных дефектов. Секторное сканирование показало лучшее разрешение по оси в сравнении пространственным разрешением.

21.05-01.53 Проблемы локации источников акустической эмиссии. *Матвиенко Ю.Г., Васильев И.Е., Чернов Д.В., Иванов В.И., Елизаров С.В. Дефектоскопия.* 2021, № 9, с. 35-44. Рус.

Выполнена оценка точности локации источников акустической эмиссии (АЭ) в зонах концентраторов (центральных отверстий диаметром 5 мм), расположенных на расстоянии 40 мм от приемных преобразователей при испытаниях на разрыв плоских образцов из стали, алюминиевого сплава и композита с габаритными размерами 550×50×4 мм. Изучена зависимость расчетной скорости распространения импульсов АЭ от их амплитуды и парциальной энергии различных мод волн Лэмба. При пороговом методе регистрации сигналов погрешность локации источников АЭ, возникающая при расстоянии между источником АЭ и приемным преобразователем АЭ (ПАЭ) $\Delta L < 0,1$ м, может превышать 10% относительно базового размера (В) области локации. Для импульсов АЭ амплитудой $ut < 60$ дБ при уменьшении расстояния $\Delta L < 0,05$ м уровень погрешности может достигать 20–30% относительно базового размера антенной решетки.

Колебания распределенных систем, вибрации, структурная акустика

21.05-01.54 Изгиб и устойчивость консольного стержня под действием давления на его поверхность и продольной силы. *Ильгамов М.А. Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 4, с. 77-88. Рус.

Линейный изгиб консольного стержня, находящегося под всесторонним давлением и продольной силой, рассматривается в статической и динамической постановках. Учитывается поперечная распределенная сила на стержень, возникающая при изгибе в результате образования разности площадей выпуклой и вогнутой частей поверхности. Сжимающая сила может быть неизменного направления и изменяющейся при изгибе. В частности следящая сила образуется в результате действия давления на концевое сечение стержня. Дается сравнение с классической задачей об устойчивости. Изучены особенности одновременного действия сил неизменного и изменяющегося направлений.

21.05-01.55 Об оптимальных способах гашения гидроупругих колебаний. *Банничук Н.В., Иванова С.Ю. Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 4, с. 89-97. Рус.

Рассматривается проблема активного подавления колебаний упругой панели, продольно движущейся в потоке идеальной жидкости. Уравнение динамики панели включает реакцию жидкости и внешнее механическое воздействие, служащее для реализации процесса демпфирования. Выводятся условия экстремальности гашения поперечных колебаний и оценивается эффективность оптимального распределения прикладываемых к панели усилий и оптимальной временной программы функционирования внешнего воздействия.

21.05-01.56 Устойчивость бесконечно длинной цилиндрической оболочки, нагруженной наружным давлением, создаваемым жесткой внешней средой. *Васильев В.В., Салов В.А. Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 4, с. 98-108. Рус.

Рассматривается задача устойчивости бесконечно длинной цилиндрической оболочки, находящейся в абсолютно жесткой среде, сжимающей оболочку так, что она может потерять устойчивость деформируясь только во внутреннюю полость. С помощью уравнений нелинейной теории оболочек, учитывающей из нелинейных эффектов только изменения радиусов кривизны средней поверхности оболочки в процессе деформации, получено точное решение, определяющее критическое давление или предельную величину докритической деформации оболочки. Установлено, что критическое давление и деформация в значительной степени зависят от связи между оболочкой и наружной средой в кольцевом направлении. Исследовано два предельных случая — оболочка жестко связанная со средой и оболочка свободная от тангенциальной кольцевой поверхност-

ной нагрузки. Полученное решение сопоставляется с результатами эксперимента, проведенного на композитных оболочках с металлическим и полимерным внутренним слоем.

21.05-01.57 Ползучесть и длительное разрушение цилиндрической оболочки при нестационарном сложном напряженном состоянии в присутствии агрессивной окружающей среды. *Басалов Ю.Г., Локощенко А.М., Фомин Л.В. Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 4, с. 109-120. Рус.*

Исследование основано на результатах испытаний на ползучесть до разрушения растягиваемых образцов титанового сплава ВТ6 при 600°C, в которые предварительно был внедрен водород различной концентрации. В данной работе проведено теоретическое обобщение полученных данных на нестационарное сложное напряженное состояние. Рассматривается моделирование ползучести цилиндрической оболочки вплоть до разрушения при двух программах зависимости осевого и поперечного напряжений от времени. Предполагается, что материал оболочки предварительно насыщался внедренным водородом различной концентрации. Описание ползучести проводится при учете физической и геометрической нелинейности. Для описания длительного разрушения используется кинетическая теория Ю.Н. Работнова с векторным параметром поврежденности. В первой части рассматривается кусочно-постоянная зависимость осевого и поперечного растягивающих напряжений от времени. Показано, что времена до разрушения оболочки при ступенчатом увеличении и уменьшении одинаковых значений напряжений совпадают. Во второй части рассматривается нагружение оболочки, при котором осевое и поперечное напряжения возрастают пропорционально времени. Получены кривые осевой ползучести оболочки вплоть до разрушения при различных скоростях увеличения напряжений.

21.05-01.58 К расчету нелинейного продольного изгиба стержня. *Анахаев К.Н. Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 5, с. 92-98. Рус.*

Рассматривается классическая задача нелинейного продольного изгиба стержня от действия сжимающей продольной силы. Получены расчетные зависимости в элементарных функциях для прямого аналитического определения основных параметров изогнутого стержня, таких как координаты очертания стержня, изгибаемые углы по длине стержня, эпюры моментов силы и внутренней энергии изгиба. Сравнение полученных расчетных значений с результатами известных (базовых) решений (Сикорского Ю.С., Попова Е.П., Захарова Ю.В., Охоткина К.Г.) дало, в целом, достаточно близкую сходимость результатов (~1–2%), приведены примеры расчета, в том числе со сравнением с данными линейного расчета. Полученные результаты могут быть использованы как для теоретических исследований, так и для инженерных расчетов на практике, в частности при определении (обратным методом) жесткости стержней произвольного поперечного сечения, либо модуля упругости различных материалов (композитных) при известных сечениях стержня, в том числе при конструировании защитных сооружений от опасных склоновых геофизических процессов и др.

21.05-01.59 Расчет формообразования космической зонтичной антенны при сильном изгибе радиальных стержней, связанных по параллелям растяжимыми тросами. *Русских С.В., Шклярчук Ф.Н. Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 5, с. 99-112. Рус.*

Рассматривается циклически симметричная зонтичная антенна, каркас которой состоит из гибких нерастяжимых радиальных стержней, связанных в узлах по параллелям растяжимыми тросами. В начальном транспортировочном положении многозвенные стержни уложены в упаковки, ориентированные в направлении оси системы. После устранения связей упаковок стержни развертываются в радиальных плоскостях под действием упругих пружин, соединяющих звенья, и фиксируются в прямолинейных положениях под заданным углом по отношению к оси, при котором все тросы, связывающие однотипные узлы стержней, принимают форму правильных многоугольников, оставаясь при этом ненапряженными. Далее под действием силы демпфирующего гидроцилиндра с предварительно сжа-

тыми пружинами корневые части всех стержней медленно поворачиваются до упоров. В конечном положении радиальные стержни, соединенные в узлах натянутыми тросами, принимают изогнутую форму. Жесткости тросов на растяжение определяются так, чтобы радиальные и осевые координаты узлов изогнутых стержней совпадали с координатами точек заданной поверхности вращения. Построена модель сильного изгиба гибкого нерастяжимого стержня с учетом действующих на него в узлах неизвестных радиальных реакций натянутых тросов. Звенья стержня рассматриваются как последовательно соединенные между собой в узлах “консольные” элементы в местных системах координат, которые могут совершать большие перемещения и повороты. Изгиб каждого элемента описывается двумя заданными функциями, усадка элемента за счет изгиба учитывается в квадратичном приближении. Полученные нелинейные уравнения деформирования системы с учетом геометрических связей в узлах решаются по методу последовательных приближений относительно неизвестных реакций тросов. По полученным значениям реакций затем при заданных координатах узлов определяются требуемые жесткости тросов на растяжение. В качестве примера расчета рассмотрена параболическая антенна при различных числах радиальных стержней и составляющих из звеньев. Выполнены оценки точности предложенной расчетной модели формообразования антенны.

21.05-01.60 Использование подвижных объектов для изменения положения твердого тела без смещения его центра масс. *Шматков А.М. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021, 497, № 1, с. 53-56. Рус.*

В явной форме найдены законы управления движущимися внутренними массами, позволяющие по заданной программе изменить ориентацию твердого тела без смещения его центра масс при отсутствии внешних сил. Указаны ограничения на возможные последовательности положений тела в различные моменты времени. Проведено сравнение со случаем единственной подвижной массы и случаем, когда все массы имеют один и тот же вектор скорости. Полученные соотношения можно использовать для управления космическими аппаратами и робототехническими системами.

21.05-01.61 Аналитические оценки движения и упругих колебаний конструкций отделяемых створок обтекателей ракетно-космических систем. *Бакулин В.Н., Борзых С.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021, 498, № 1, с. 40-45. Рус.*

Получены уравнения и построена модель для исследования динамики процесса отделения створок обтекателей ракетно-космических систем. На основе предположения о малости угловой скорости вращения створок в процессе отделения по сравнению с низшими частотами их собственных колебаний получены две независимые группы аналитических соотношений, одна из которых описывает пространственное движение створок как целого относительно ракеты-носителя, а вторая — упругие колебания на участке разворота относительно осей, зафиксированных на носителе. На основании полученных соотношений первой группы строятся траектории движения створок в процессе отделения. Во второй группе уравнений исследованы зависимости уровня возбуждения колебаний створок от разновременности включения двигателей отделения и/или разброса характеристик толкателей.

21.05-01.62 Динамическая устойчивость трехслойной цилиндрической оболочки, подкрепленной кольцевыми ребрами и пустотелым цилиндром, при действии внешнего пульсирующего давления. *Бакулин В.Н., Недбай А.Я. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021, 498, № 1, с. 46-52. Рус.*

Предложена модель для исследования динамической устойчивости трехслойной цилиндрической оболочки с несимметричным пакетом композитных несущих слоев и легким заполнителем, подкрепленной кольцевыми ребрами и упругим пустотелым цилиндром, при действии осевых сил и внешнего пульсирующего давления. Впервые получены уравнения и рассмотрены основные этапы решения задачи с помощью предложенной комбинации методов. Для произвольно расположенных неодинако-

вых ребер задача сводится к решению системы уравнений относительно амплитудных значений двух окружных и радиального перемещений оболочки в местах установки ребер. При равномерно расположенных одинаковых ребрах характеристическое уравнение для определения критических частот представляет систему трех алгебраических уравнений. Впервые построены зависимости критических частот главных областей неустойчивости и исследовано влияние на них параметров цилиндра и ребер. Разработанная оригинальная математическая модель позволяет впервые провести анализ одновременного влияния ребер и цилиндра на границы областей неустойчивости и определить возникновение параметрического резонанса, приводящего к разрушению корпуса двигателя летательного аппарата.

21.05-01.63 **Динамическое поведение балки, лежащей на обобщенном упругом основании, с движущейся нагрузкой.** *Ерофеев В.И., Лисенкова Е.Е., Царев И.С. Прикл. мат. и мех.* 2021. 85, № 2, с. 193-209. Рус.

Приводится анализ наиболее известных моделей упругого основания. Показано, что, несмотря на различие в названии, речь идет об одной обобщенной модели, характеризующейся двумя коэффициентами. Такая модель позволяет не только сохранить простоту математического аппарата, которая присуща винклеровой модели, но и получить более достоверные результаты. Рассматривается согласованное динамическое поведение балки, лежащей на обобщенном упругом основании, характеризующимся двумя коэффициентами постели (коэффициентом сжатия и коэффициентом сдвига), с движущейся нагрузкой. Изучаются особенности генерации изгибных волн движущейся нагрузкой и определены критические скорости ее движения. Получено выражение для давления волн (силы сопротивления движению). Исследуется зависимость постоянной составляющей этой силы от скорости движения объекта. Приводится сравнение с результатами, полученными при использовании классической модели упругого основания. Ключевые слова: балка, обобщенная модель упругого основания, движущаяся нагрузка, критическая скорость, изгибные волны, сила сопротивления движению DOI: 10.31857/S0032823521020041.

21.05-01.64 **Оптимальное демпфирование колебаний при поступательном движении панели в потоке жидкости.** *Баничук Н.В., Иванова С.Ю. Прикл. мат. и мех.* 2021. 85, № 3, с. 358-369. Рус.

Рассматривается движение упругой панели в потоке идеальной жидкости. Предполагается, что панель совершает малые поперечные колебания и подвержена для их подавления внешним механическим воздействиям. Формулируется и решается задача оптимизации процесса демпфирования колебаний, оцениваемых квадратичным энергетическим критерием. Выведены необходимые условия оптимальности, применяемые для подавления гидроупругих колебаний на конечном интервале времени. Приводится итерационный алгоритм демпфирования колебаний, основанный на последовательном решении “прямых” задач взаимодействия движущихся жидкости и панели и сопряженных задач возвратного интегрирования однородного уравнения с последовательным определением соответствующего приближения для оптимального управления, подавляющего колебания. Развиваемый алгоритм оптимального демпфирования колебаний иллюстрируется на примере аналитического определения стабилизирующего воздействия. Ключевые слова: гидроупругое взаимодействие, гашение колебаний, оптимизация демпфирующих воздействий DOI: 10.31857/S0032823521020028.

21.05-01.65 **Волны деформации в нелинейных соосных оболочках, заполненных вязкой несжимаемой жидкостью.** *Могилевич Л.И., Блинов Ю.А., Иванов С.В. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 467-474. Рус.

Исследованы продольные волны деформации в физически нелинейных соосных цилиндрических упругих оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость как между ними, так и внутри. Учтено влияние инерции движения жидкости на амплитуду и скорость волны. При отсутствии влияния жидкости во внутренней оболочке скорость и амплитуда волн в оболочках не меняется. Движение профиля волны в сопровож-

дающей системе координат происходит в отрицательном направлении. Это означает, что скорость движения дозвуковая. Учет влияния инерции движения жидкости во внутренней оболочке приводит к уменьшению скорости волны деформации, при этом вязкостное напряжение жидкости на оболочку приводит к падению амплитуд волн. Ключевые слова: нелинейные волны, упругие цилиндрические оболочки, вязкая несжимаемая жидкость, разностная схема Кранка—Николсона. DOI: 10.31857/S0320791921050051.

См. также **21.05-01.18, 21.05-01.19, 21.05-01.20, 21.05-01.21, 21.05-01.22, 21.05-01.23, 21.05-01.25, 21.05-01.36**

Волны в многофазных, пористых, резиноподобных средах, полимерах

21.05-01.66 **Математическая модель конверсии гидрата CH_4 в гидрат CO_2 при больших скоростях инъекции углекислого газа в пласт.** *Цыпкин Г.Г. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 496, № 1, с. 60-64. Рус.

Предложена математическая модель замещения метана углекислым газом в гидрате при высоких скоростях инъекции углекислого газа в пласт. Зона реакции замещения моделируется фронтом конверсии гидрата метана в гидрат углекислого газа. Проведено сравнение с режимом, учитывающим образование двух поверхностей фазовых переходов — фронта диссоциации гидрата CH_4 и фронта образования гидрата CO_2 . Показано, что высокое давление инъекции подавляет диссоциацию гидрата метана и реакция замещения не реализуется. При значительных объемах гидрата в пласте реализуется только частичное образование гидрата углекислого газа. Построена критическая диаграмма режимов реакции замещения.

21.05-01.67 **Ультразвук терапевтического диапазона влияет на формирование микрочастиц льда.** *Садикова Д.Г., Андреев А.А. Биофизика.* 2021. 66, № 2, с. 213-218. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302921020010.

21.05-01.68 **Об устойчивости фронта инъекции воды в высокотемпературные породы.** *Цыпкин Г.Г. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 66-73. Рус.

Рассматривается задачи инъекции воды в высокотемпературный геотермальный резервуар, насыщенный перегретым паром. Методом нормальных мод исследуется устойчивость фронта фазового перехода, движущегося с постоянной скоростью. Проведено численное исследование полученного дисперсионного уравнения. При различных значениях основных параметров представлены дисперсионные кривые, характеризующие переход к неустойчивости. Показано, что переход от устойчивого режима распространения фронта к неустойчивому происходит при увеличении проницаемости и начальной температуры, а также при уменьшении начального давления.

21.05-01.69 **Бегущие волны в многослойных анизотропных композитах.** *Глушков Е.В., Глушкова Н.В. Прикл. мат. и мех.* 2021. 85, № 3, с. 296-308. Рус.

Рассматривается возбуждение и распространение поверхностных акустических волн в многослойных волноводах с произвольной анизотропией упругих слоев. Дается краткий обзор асимптотических представлений, полученных в рамках разрабатываемого В.А. Бабешко интегрального подхода, в сопоставлении с результатами классического модального анализа. Приводятся примеры приложений к задачам ультразвукового неразрушающего контроля состояния изделий из композитных материалов. Ключевые слова: композитные материалы, поверхностные акустические волны, интегральные и асимптотические представления, модальный анализ, вектор групповой скорости, ультразвуковой контроль, эффективные упругие модули DOI: 10.31857/S0032823521030061.

Статистическая акустика

См. **21.05-01.29**

Нелинейная акустика

Нелинейные параметры среды

21.05-01.70 Решение типа кинка для одной модификации регуляризованного уравнения длинных волн. **Князев М.А.** *Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 4, с. 170-171. Рус.

Теория нелинейных акустических волн

21.05-01.71 Упругие волны в средах с разномодульной нелинейностью с учетом эффектов отражения от ударных фронтов. **Назаров В.Е.** *Журнал технической физики.* 2021. 91, № 1, с. 1747-1755. Рус.

Проведено теоретическое исследование распространения продольных сильной низкочастотной и слабой высокочастотной упругих волн в недиспергирующих твердых телах с разномодульной нелинейностью с учетом эффектов отражения от ударных фронтов волны. Получены выражения для формы волны, а также для амплитуд, частот и фаз гармонических составляющих возмущения, отраженного от разрывов нелинейной волны. Проведен численный и графический анализ полученных решений. Отмечается, что экспериментальное изучение эффектов отражения волн от разрывов может быть использовано для определения нелинейного параметра разномодульной среды. Ключевые слова: продольные упругие волны, бимодульная нелинейность, ударные волны, отражение от разрывов.

21.05-01.72 Статистические характеристики ансамбля солитонов внутренних волн. **Диденкулова Е.Г., Пелиновский Е.Н., Талипова Т.Г.** *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2020. 56, № 6, с. 638-646. Рус.

С помощью численного моделирования исследуются статистические характеристики ансамбля солитонов внутренних волн, распространяющихся в условиях, приближенных к условиям шельфа Австралии. Построено распределение амплитуды импульсов в зависимости от пройденного расстояния, а также такие статистические моменты, как асимметрия и эксцесс. Показано, что оба момента с расстоянием падают приблизительно на 20%.

21.05-01.73 Динамика нестационарных цилиндрических уединенных внутренних волн. **Горшков К.А., Островский Л.А., Соустова И.А.** *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. 57, № 2, с. 188-198. Рус.

Дано приближенное аналитическое описание нестационарной эволюции цилиндрических нелинейных уединенных волн со сложной структурой. Анализируется модифицированное уравнение Гарднера с граничным условием в виде “широкого” солитона, близкого к предельному. Проведенный анализ показывает качественное различие в поведении сходящихся и расходящихся волн, а также отличие от квазистационарной динамики цилиндрических солитонов.

См. также **21.05-01.70**

Распространение интенсивных волн, пилообразные и слабые ударные волны

См. **21.05-01.71**

Нелинейная акустика твердых тел

21.05-01.74 Дисперсия и пространственная локализация изгибных волн, распространяющихся в балке Тимошенко, лежащей на нелинейно-упругом основании. **Ерофеев В.И., Леонтьева А.В.** *Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 4, с. 3-17. Рус.

Рассматриваются изгибные волны, распространяющиеся в однородной балке, закрепленной на нелинейно-упругом основании. Динамическое поведение балки определяется теорией Ти-

мошенко. Система уравнений, описывающая изгибные колебания балки, сводится к одному нелинейному уравнению четвертого порядка относительно поперечных смещений частиц срединной линии балки. Показано, что в случае, если жесткость балки мала по сравнению с линейной жесткостью основания, эволюционное уравнение представляет собой модифицированное уравнение Островского с дополнительным кубично-нелинейным слагаемым. Для эволюционного уравнения найдены точные солитонные решения из класса стационарных волн в виде кинка и антикинка.

21.05-01.75 Нелинейная диагностика, акустическое взвешивание, молоточек Андреева и зондовые микроскопы. **Руденко О.В.** *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 67-72. Рус.

Описан способ диагностики, базирующийся на “акустическом взвешивании” листовых материалов. Масса дефекта или дефицит массы определяют сдвиг частоты колеблющейся мембраны. Описан измерительный прибор академика Н.Н. Андреева, изобретенный им в 1925 г. и основанный на эффекте “дребезжания” за счет “подпрыгивания” небольшого груза, лежащего на телефонной мембране. Рассчитаны гармоники, появляющиеся при достаточно больших амплитудах колебаний. Показано, что гармоники могут возникать и при работе современных высокоточных приборов, например, туннельного и атомно-силового микроскопов.

21.05-01.76 Гистерезис при сверхзвуковом обтекании плоской решетки цилиндрических стержней. **Гувернюк С.В., Максимов Ф.А.** *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 125-135. Рус.

Представлены результаты численного моделирования взаимодействий сверхзвукового потока с пронизаемым экраном в виде бесконечной плоской решетки круговых цилиндров. Рассматривается режим взаимодействия, при котором скачки уплотнения перед цилиндрами локализованы в масштабе шага решетки. Применена многоблочная вычислительная технология, при которой вязкие пограничные слои разрешаются на локальных сетках с использованием уравнений Навье—Стокса, а эффекты интерференции ударно-волновых структур в сверхзвуковом следе описываются в рамках уравнений Эйлера. Воздействие ударных волн от соседних элементов решетки на область ближнего следа за промежуточными элементами может неоднозначно влиять на аэродинамические характеристики решетки, а также порождать нестационарные явления в следе. На примере решетки, имеющей проницаемость 80%, дана классификация режимов течения при непрерывном увеличении и уменьшении скорости набегающего сверхзвукового потока воздуха в диапазоне чисел Маха от 2.4 до 4.2. Обсуждаются причины гистерезисного поведения аэродинамического сопротивления решетки по числу Маха и механизмы возникновения нестационарных автоколебательных режимов течения в следе.

21.05-01.77 Акустическая эмиссия при пластической деформации оловянно-свинцовых сплавов. **Салита Д.С., Поляков В.В.** *Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2020. 17, № 1, с. 119-123. Рус.

Проведено исследование акустической эмиссии при статическом растяжении оловянно-свинцовых сплавов в условиях повторного нагружения. Были исследованы сплавы 30%Pb-70%Sn, 20%Pb-80%Sn, 10%Pb-90%Sn, отличавшиеся топологически различной структурой. Для сплава 30%Pb-70%Sn структура характеризовалась эвтектическими колониями из чередующихся прослоек α - и β -фаз, образовывавшими связанный кластер, с включениями изолированных зерен β -фазы. При увеличении концентрации β -фазы формировался связанный кластер из зерен олова с изолированными включениями эвтектических областей. Для сплава 10%Pb-90%Sn эти области были представлены небольшими участками, располагавшимися по границам зерен β -фазы. Экспериментально обнаружено, что при повторном нагружении оловянно-свинцовых сплавов регистрировалась акустическая эмиссия, возникавшая с самого нача-

ла повторного нагружения до достижения уровня предыдущей нагрузки. Это означало, что нарушался эффект Кайзера, наблюдавшийся в большинстве металлических материалов. Для объяснения отклонения от акустоэмиссионного эффекта памяти рассмотрены физические механизмы, обусловленные наличием областей с эвтектической структурой. Для сплава 30%Pb-70%Sn пластическая деформация в первую очередь осуществлялась за счет движения эвтектических колоний как целого по общим границам раздела. При высоких концентрациях β -фазы в сплавах 20%Pb-80%Sn и 10%Pb-90%Sn пластическое течение реализовывалось путем скольжения зерен β -фазы по эвтектическим прослойкам, залегающим по границам зерен олова. Как следствие, при повторном нагружении отсутствовали мощные дислокационные барьеры, тормозящие дислокационные потоки. В связи с этим акустическая эмиссия регистрировалась на ранних стадиях повторного нагружения.

21.05-01.78 Моделирование акустико-электрического неразрушающего контроля дефектности диэлектрических материалов. *Беспалько А.А., Суржиков А.П., Дани Д.Д., Уцын Г.Е., Петров М.В., Помышин Е.К. Дефектоскопия.* 2021, № 2, с. 3-14. Рус.

Показано влияние дефектности твердотельных диэлектрических образцов на параметры электромагнитного отклика при детерминированном акустическом воздействии на объект контроля. Приведены закономерности изменения параметров электромагнитных сигналов при вариациях и увеличении вектора напряженности электрического поля по отношению к контакту материалов образца и дефекта. Показано, что амплитудно-частотные параметры излучаемых электромагнитных сигналов находятся в непосредственной связи с акустическим импедансом и проводимостью контактирующей среды и дефекта. Установлено соответствие амплитуд электромагнитных откликов на определенное при математическом моделировании распределение во времени и пространстве механических напряжений, возникающих в дефектной системе при распространении акустического импульса. Приведены данные изменения параметров электромагнитных сигналов при увеличении размеров модельных дефектов в однотипных образцах.

См. также **21.05-01.19**

Акустические течения и радиационное давление

21.05-01.79 Мостиковый режим течения в микроканалах. *Роньшин Ф.В., Чиннов Е.А., Деметьев Ю.А., Кабов О.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 499, № 1, с. 43-47. Рус.

В результате исследований двухфазных потоков в целевых микроканалах обнаружен и изучен новый режим течения — мостиковый. Мостики представляют собой вертикальные перемычки между пленками жидкости, расположенными на нижней и верхней сторонах канала. Установлено, что с увеличением расходов газа и жидкости мостики начинают деформироваться, а затем разрушаться. Определены критические числа Вебера, характерные для деформации и разрушения жидкостных мостиков. Предложена новая классификация режимов двухфазного течения в микроканалах на основе полученных экспериментальных данных.

21.05-01.80 Формирование системы наклонных петель в течениях импакта капли. *Чашечкин Ю.Д., Ильиних А.Ю. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 499, № 1, с. 48-57. Рус.

Методами высокоразрешающей фото- и видеорегистрации впервые прослежен процесс формирования и реструктуризации регулярной системы наклонных петель, содержащих вещество свободно падающей окрашенной капли, в толще принимающей жидкости. Петли длиной до 1.5 см, внедряются в жидкость в режиме формирования всплеска, вытягиваются из небольших вихорьков, деформирующих стенку растущей каверны в узлах первичной сетки — областях накопления вещества капли. Существующие до 60 мс петли деформируются и переносятся интенсивными приповерхностными течениями в начальной фазе развития всплеска. Изменение общей структуры течения сопро-

вождается образованием новых типов волокнистых структур распределения вещества капли. Быстро развивающиеся системы окрашенных волокон, существующие на всех этапах эволюции процессов импакта капли, вплоть до образования каскада колец, нарушают осевую симметрию течений.

Нелинейные диспергирующие волны, солитоны

21.05-01.81 Моделирование сверхзвуковых N -краудионов в ГЦК металлах. *Баязитов А.М., Бачурин Д.В., Корзникова Е.А., Дмитриев С.В. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2020. 17, № 2, с. 155-160. Рус.

Краудионы, то есть межузельные атомы, расположенные в плотноупакованных рядах, играют важную роль в релаксационных процессах, протекающих в металлах и сплавах при интенсивных внешних воздействиях, эффективно перенося массу и энергию. Необходимо изучение динамики краудионов в чистых металлах, а также анализ и сравнение полученных результатов для различных металлов. В недавних работах авторов понятие сверхзвукового краудиона было расширено до сверхзвукового N -краудиона, в котором не один, а N атомов движутся с высокой скоростью вдоль плотноупакованного ряда. Экспериментальное изучение межузельных атомов, перемещающихся по кристаллической решетке со сверхзвуковыми скоростями, наталкивается на серьезные технические трудности. Наиболее эффективным методом их изучения на сегодняшний день является метод молекулярной динамики. В этой связи, численное исследование способов инициации и динамики сверхзвуковых краудионов в металлах является актуальным. В настоящем исследовании методом молекулярной динамики изучено движение сверхзвуковых 1- и 2-краудионов в ГЦК металлах Ni, Al, Cu. Расчеты проводились с использованием пакета программ LAMMPS и хорошо апробированных многочастичных потенциалов. N -краудион возбуждался заданием одинаковой скорости N соседним атомам вдоль плотноупакованного ряда. Было обнаружено, что длина пробега 2-краудиона в чистых металлах может достигать значений, которые в 3 раза больше чем длина пробега 1-краудиона, имеющего ту же начальную скорость. Полученные результаты говорят о более высокой эффективности 2-краудионов в массопереносе в кристаллических структурах исследуемых металлов. В дальнейших работах предполагается изучить возможность запуска сверхзвуковых 2-краудионов путем бомбардировки поверхности кристалла биатомными молекулами.

См. также **21.05-01.72, 21.05-01.73**

Методы измерений и инструменты нелинейной акустики

21.05-01.82 О возможном механизме внешнего инфразвукового механического стимулирования процесса формирования нанокристаллов в аморфной металлической пленке. *Сладников Е.Е., Турчановский И.Ю. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 1, с. 1662-1673. Рус.

Сформулированы кинетическая модель, физическая причина и условие стимулированного внешними инфразвуковыми механическими колебаниями процесса формирования нанокристаллов в аморфной металлической пленке. За эти процессы ответственны наноструктурные элементы аморфной среды: локально упорядоченные нанокластеры и нанообласти, содержащие свободный объем, в которых содержатся двухуровневые системы. При деформации стекла происходит возбуждение двухуровневых систем, благодаря чему они дают существенный вклад в неупругую деформацию, структурную релаксацию, образование нанокластеров и нанокристаллов. Физический механизм нанокристаллизации металлического стекла при механическом воздействии включает в себя помимо механизма локальных термических флуктуаций также атермический механизм квантового туннелирования атомов или атомных групп, стимулированный неупругой деформацией. По этому механизму упорядоченный нанокластер перестраивается в нанокристалл,

возникает нанометровая потенциальная яма, в которой локализуется электрон проводимости с образованием фазона. Критический радиус фазона равен ~ 0.5 нм, а критическое значение глубины нанометровой потенциальной ямы (условие, при котором образуется стабильный фазон) составляет приблизи-

тельно 1 eV. Ключевые слова: кинетическая модель, нанокристаллы, аморфная металлическая пленка, инфразвук, неупругая деформация, квантовое туннелирование, релаксация, локализация электрона проводимости, фазон.

Физическая акустика

Скорость, дисперсия, дифракция и затухание в газах и в жидкостях

21.05-01.83 Анизотропия распространения упругих волн в орторомбических кристаллах $MgSiN_2$, $MgGeN_2$ и $MgSnN_2$. *Загвоздин И.Н., Копытов А.В., Поплавной А.С. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2020. 17, № 2, с. 263-268. Рус.

Путем численного решения уравнения Кристоффеля по значениям упругих постоянных исследована анизотропия распространения акустических волн в $MgSiN_2$, $MgGeN_2$ и $MgSnN_2$. Для случая продольных нормалей уравнение Кристоффеля может быть сведено к векторному уравнению, которое определяет конус продольных нормалей. Численное решение этого уравнения выявило по 7 продольных нормалей в каждом кристалле в неприводимой части зоны Бриллюэна. Проверка условий реализации акустических осей показала, что в $MgSiN_2$, $MgGeN_2$ и $MgSnN_2$ 4, 6 и 3 акустические оси соответственно. Условия распространения чистопоперечных волн в кристаллах орторомбической системы выполняются во всех координатных плоскостях. Кроме того, чисто поперечные волны могут распространяться вдоль направлений, лежащих на поверхности конуса 4-го порядка, уравнение которого записано в классической монографии Ф.И. Федорова. Для акустических осей, не являющихся продольными нормальными, имеет место внутренняя коническая рефракция, т.е. если волновая нормаль совпадает с акустической осью кристалла, то ей соответствует целый конус направлений вектора потока энергии, каждое из которых отвечает определенному вектору смещения квазипоперечной волны. Вычисленные характеристики конуса рефракции приведены в работе. По вычисленным значениям фазовой скорости в различных направлениях были построены поверхности рефракции (поверхность обратной фазовой скорости) и их сечения плоскостями симметрии. В работе показано, что с увеличением периода элементов Si, Ge, Sn наблюдается уменьшение деформации эллипсоидов, что указывает на уменьшение отклонения от изотропного случая.

См. также **21.05-01.33**

Скорость, дисперсия, дифракция и затухание в жидких кристаллах, суспензиях и эмульсиях, полимерах

21.05-01.84 Разностные схемы для анализа продольных волн на основе осесимметричных уравнений динамической теории упругости. Finite difference schemes for modelling the propagation of axisymmetric elastic longitudinal waves. *Sadovskii V.M., Sadovskaya O.V., Efimov E.A. Журнал Сибирского Федерального университета. Математика и физика.* 2020. 13, № 5, с. 644-654. Англ.

Цель исследования состоит в построении экономичной разностной схемы сквозного счета для решения прямых задач сейсмике на основе уравнений динамики упругой среды в осесимметричной постановке. При численной реализации схемы на многопроцессорных вычислительных системах применяется метод двудиклического расщепления по пространственным переменным. Одномерные системы уравнений на этапах расщепления распадаются на подсистемы продольных, поперечных и крутильных волн. В данной работе рассматривается случай продольных волн. Проводится сравнение явных сеточно-характеристических схем и неявных схем типа "предиктор—корректор" с контролируемой диссипацией энергии на точных

решениях, описывающих бегущие монохроматические волны.

Скорость, дисперсия, рассеяние, дифракция и затухание в твердых телах; упругие константы

21.05-01.85 β сплав Ti—20Nb—10Ta—5Zr со структурированной на микро- и наномасштабе поверхностью. *Севостьянов М.А., Бакин А.С., Каплан М.А., Колмаков А.Г., Гудков С.В., Ребезов М.Б., Гарнов С.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 496, № 1, с. 37-40. Рус.

Показано, что сплав является гомогенным (Ti-65%, Nb-20%, Ta-10%, Zr-5%). Только в близком к поверхности слое толщиной порядка 100 нм наблюдается изменение элементного состава. Поверхность сплава обеднена по содержанию титана ($\sim 20\%$) и обогащена по содержанию тантала ($\sim 20\%$). Также на поверхности присутствует большое количество оксидов ($\sim 50\%$). Сплав является однофазным с кристаллической решеткой типа β -Ti (кубическая сингония, пространственная группа Im3m). Сплав имеет предел текучести около 550 МПа, предел прочности около 700 МПа. Модуль Юнга порядка 50 ГПа. Относительное удлинение сплава около 1.4%. На микромасштабе на поверхности проволоки и пластин из сплава Ti—20Nb—10Ta—5Zr обнаружены складки и продольные гребнеобразные структуры высотой до 0.5 мкм. При анализе нанотопологии установлено, что даже между гребнеобразными структурами или на их вершинах присутствуют неровности высотой вплоть до 100—150 нм.

21.05-01.86 Применение подхода Кельвина для качественной оценки возможности фазовых переходов в сплавах с памятью формы. *Аннин Б.Д., Остросаблин Н.И., Угрюмов Р.И. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 496, № 1, с. 51-54. Рус.

Предложено использовать понятие собственных модулей и собственных состояний из линейной теории упругости для оценки возможности фазовых переходов (мартенситные превращения) в сплавах с эффектом памяти формы. Для сплавов с кубической и гексагональной решетками приведены их собственные модули и собственные состояния. Удельная энергия деформации для кубической и гексагональной фазы записывается в виде суммы шести независимых слагаемых. Предлагается сравнивать удельные энергии деформации в кубической и гексагональной фазах. Если в гексагональной фазе энергия деформации больше, чем в кубической, то сплав может стремиться вернуться в исходное состояние с меньшей энергией. Возможно также использовать для сравнения энергий в разных фазах формулы ближайших по евклидовой энергетической норме тензоров к кубическому и гексагональному тензорам. Приведены примеры для некоторых конкретных значений констант упругости.

21.05-01.87 Ангармонизм и отношение квадратов скоростей звука в стеклообразных твердых телах. *Сандитов Д.С., Машанов А.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 21-26. Рус.

Полученная зависимость отношения квадратов скоростей продольной и поперечной акустических волн v_L^2/v_S^2 от параметра Грюнайзена γ — меры ангармонизма — находится в согласии с экспериментальными данными. Величина v_L^2/v_S^2 оказывается однозначной функцией отношения тангенциальной и нормальной жесткостей межатомной связи. Ключевые слова: скорости упругих волн, ангармонизм, уравнения Грюнайзена, Леонтьева, Беломестных—Теслевой, тангенциальная и нормальная жесткости межатомной связи, стекла.

21.05-01.88 Характерная скорость охлаждения и стеклование жидкостей. *Сандитов Д.С., Сангадиев С.Ш.* Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 497, № 1, с. 27-30. Рус.

Работа посвящена анализу и обобщению кинетических критериев стеклования с привлечением модели делокализованных атомов. Предлагается обобщенный критерий перехода жидкость—стекло. Жидкость переходит в замороженное стеклообразное состояние, когда скорость ее охлаждения $q = dT/dt$ достигает определенной доли C_g от характерной скорости охлаждения $qg = T_g/\tau_g$, тесно связанной со временем релаксации структуры τ_g при температуре стеклования T_g .

См. также **21.05-01.33**, **21.05-01.78**, **21.05-01.83**

Акустическая кавитация, сонолюминесценция

21.05-01.89 Обеспечение максимальной эффективности ультразвуковых технологий в средах с жидкой фазой. *Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Хмелев М.В.* Южно-Сибирский научный вестник. 2021, № 4, с. 62-70. Рус.

DOI: 10.25699/SSSB.2021.38.4.001 Актуальность исследований обусловлена отсутствием единого подхода к обеспечению ультразвукового воздействия с максимальной эффективностью при реализации различных технологических процессов в жидко-дисперсных средах. Целью исследований является выявление условий обеспечения оптимальных режимов реализации различных технологических процессов под действием ультразвуковых колебаний в средах с преимущественно жидкой фазой с учетом особенностей, связанных с формированием ультразвуковых колебаний, их введением в различные по свойствам среды и реализацией самого воздействия с максимальной эффективностью. В качестве объекта исследований выступают ультразвуковые технологические аппараты для воздействия в режиме «развитой» кавитации с целью интенсификации технологических процессов в дисперсных средах с преимущественно жидкой фазой. В результате исследований на основе анализа формирования «развитой» кавитации выявлены наиболее эффективные режимы формирования колебаний, их введения в обрабатываемые среды и обеспечения максимально эффективного кавитационного воздействия, обеспечивающего заданные преобразования структуры и свойств обрабатываемых сред при воздействии на ограниченные и «безграничные» технологические объемы, воздействию в режиме стоячей волны и воздействию в тонких слоях жидкости. Проведенные исследования позволили выработать и рекомендовать для практического применения общий алгоритм управления ультразвуковым воздействием при реализации технологических процессов в дисперсных средах с преимущественно жидкой фазой за счет непрерывного изменения в режиме реального времени частоты и уровня напряжения электронного генератора, питающего ультразвуковую колебательную систему.

21.05-01.90 Динамика пузырька и импульсное нагружение твердой поверхности при акустическом воздействии. *Аганин А.А., Гусева Т.С., Косолапова Л.А., Малахов В.Г.* Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2021. 163, № 1, с. 31-47. Рус.

Проведено численное исследование расширения, коллапса и импульсного воздействия газового пузырька на плоскую твердую стенку при гармоническом изменении давления окружающей жидкости (воды). Задача полагалась осесимметричной. Воздействие на стенку реализовывалось посредством удара кумулятивной струи, образующейся на поверхности пузырька при его коллапсе. Расширение и коллапс пузырька рассчитывались методом граничных элементов, импульсное воздействие на стенку — методом SIP-SUP. Приведены результаты исследования влияния параметров акустического воздействия и начальной удаленности пузырька от стенки на динамику пузырька, а также влияния частоты воздействия, соответствующей максимальной скорости кумулятивной струи, на импульсное нагружение стенки.

21.05-01.91 Анализ пороговых параметров начала акустической кавитации жидкости в зависимости от частоты ультразвукового поля, гидростатического давления и температуры. *Смирнов И.В., Михайлова Н.В., Якутов Б.А., Волков Г.А.* Журнал технической физики. 2021. 91, № 1, с. 1631-1640. Рус.

Проведено сравнение критерия инкубационного времени кавитации и классического критерия нестабильной кавитации. Показано, что критерий инкубационного времени кавитации может быть универсальной основой для оценки пороговых значений отрицательного давления в широком диапазоне частот колебаний звукового поля, при различных температурах жидкости и значениях гидростатического давления. В отличие от классического критерия он не требует информации о микропараметрах дефектной структуры материала. С другой стороны, комбинация двух критериев позволяет определить частотную зависимость диапазона радиусов активных кавитационных зародышей. Кроме того, обсуждена физическая сущность макропараметров жидкости, используемых в критерии инкубационного времени кавитации. Показано, что инкубационное время кавитации может быть связано с числом Гиббса и скоростью нуклеации зародышей кавитации. Ключевые слова: акустическая кавитация, ультразвук, пороговая амплитуда, критерий инкубационного времени.

21.05-01.92 Распространение одиночной волны давления по области разряда микроволнового диапазона длин волн в воздухе при средних давлениях. *Бычков В.Л., Грачев Л.П., Есаков И.И., Семенов А.В.* Журнал технической физики. 2021. 91, № 1, с. 1641-1644. Рус.

Кавитация между вращающимся и неподвижным цилиндрами возникает в виде цепочки пузырьков. Размеры пузырьков практически одинаковы, равно как и расстояния между пузырьками и их азимутальное расположение. Хотя такая форма кавитации наблюдалась в многочисленных экспериментах (в частности, в экспериментах с подшипниками), ее природа не была выяснена. Проведенный анализ показывает, что нарушение осевой симметрии потока из-за смещения оси одного из цилиндров приводит к регулярным волнообразным трехмерным возмущениям потока. Их "длина волны" определяется минимальным зазором между цилиндрами. Хотя течение между цилиндрами не является безвихревым, эти возмущения можно определить с помощью потенциала скорости. Ключевые слова: кавитация, круговые цилиндры, несоосные цилиндры, невязкий поток.

Фононы в кристаллической решетке, квантовая акустика

21.05-01.93 Исследование ударных волн в графене методом молекулярной динамики. *Шепелев И.А., Семенов А.С., Дмитриев С.В., Корзникова Е.А.* Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. 17, № 2, с. 188-194. Рус.

В настоящее время двумерные материалы и гетероструктуры на их основе являются крайне актуальным направлением изучения для мирового научного сообщества. Данный интерес во многом вызван их необычными физико-механическими свойствами, с которыми ассоциируются многочисленные возможности по применению таких материалов в самых разнообразных областях науки и техники. Несмотря на то, что к настоящему моменту открыто уже более ста и предсказано более семисот новых двумерных материалов, графен остается самым популярным объектом исследования в своем классе. При этом нужно отметить, что в настоящий момент наблюдается очевидный недостаток работ раскрывающий особенности поведения материала в экстремальных условиях. Пробел должен быть восполнен, так как известно, что высокоэнергетические воздействия зачастую инициируют механизмы деформации и эволюции структуры отличные от конвенциональных. Слоистые материалы, состоящие из слабо связанных жестких слоев, представляют интерес в современном материаловедении, поскольку они проявляют новые механизмы деформации при сжатии вдоль слоев. Высокая динамика скоростей деформирования таких материалов остается в основном неизученной, в то время как некоторые

потенциальные области применения, такие как баллистическая защита или высокочастотное нагружение, диктуют необходимость таких исследований. Данная работа посвящена моделированию плоских ударных волн, распространяющихся в гексагональной решетке графена. Показано, что затухание ударной волны происходит быстрее для волн, движущихся вдоль направления кресло, по сравнению с направлением зигзаг. Эти результаты объясняются с учетом механизма диссипации энергии, основанного на анализе колебаний валентных углов и длин валентных связей, инициируемых ударной волной. В исследовании раскрываются механизмы переноса и диссипации энергии в слоистых материалах, подверженных высокоскоростному нагружению вдоль слоев.

21.05-01.94 Потенциал Пайерлса—Набарро для топологических солитонов в дискретных системах. Бибихов Ю.В., Дмитриев С.В. *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2021. 18, № 1, с. 74-80. Рус.

Топологические солитоны в континуальных системах могут находиться в покое, имея любое положение вдоль пространственной координаты. Ситуация меняется для дискретных систем, когда энергия солитона зависит от его положения относительно решетки. Зависимость энергии солитона от его пространственной координаты в дискретной системе называется потенциалом Пайерлса—Набарро, а разница между максимальной и минимальной энергией — высотой потенциала Пайерлса—Набарро. Наличие и высота данного потенциала определяют, в частности, подвижность топологических солитонов и минимальную энергию, необходимую для движения солитона вдоль решетки. Кристаллы являются дискретными средами для таких топологических солитонов как дислокации или доменные стенки, от подвижности которых зависит, например, напряжение течения металлов. Минимальное сдвигающее напряжение, необходимое для активации скольжения дислокаций называется напряжением Пайерлса, которое было оценено для многих металлов и сплавов методом молекулярной динамики и *ab initio* моделирования. Целью данной работы является обзор различных дискретных моделей, поддерживающих топологические солитоны, в которых потенциал Пайерлса—Набарро может быть существенно понижен или даже сведен к нулю. Вывод дискретных моделей, свободных от статического потенциала Пайерлса—Набарро, проводился рядом авторов с использованием аналитических расчетов для одномерных нелинейных цепочек. Построено несколько классов таких моделей, для некоторых из них выполняется закон сохранения энергии, для других — закон сохранения импульса. Эти теоретические результаты обсуждаются применительно к напряжениям Пайерлса для дислокаций в различных кристаллах. Общий вывод проведенных исследований состоит в том, что дискретность среды не исключает высокой подвижности топологических солитонов.

Плазменная акустика

21.05-01.95 Синтез мультислойных алмазных пленок в СВЧ-плазме в режимах с периодической инжекцией азота. Мартынов А.К., Седов В.С., Заведеев Е.В., Савин С.С., Ральченко В.Г., Конов В.И. *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2021. 496, № 1, с. 27-30. Рус.

Использование поликристаллического алмаза в оптике (прозрачные окна) и электронике (теплоотводы) обычно предполагает полировку синтезированной пластины. Однако при механической полировке возникает ряд проблем ввиду того, что алмаз является материалом с рекордной твердостью. В данной работе описан новый подход к формированию алмазных пленок со сниженной шероховатостью путем периодического ограничения по времени добавления (инъекции) азота в стандартную газовую смесь метан—водород ($\text{CH}_4\text{—H}_2$). Азот стимулирует вторичное зародышеобразование на уже сформированных хорошо ограниченных зернах алмаза микрометрового размера, что препятствует их дальнейшему разрастанию. Переход от непрерывной подачи N_2 к его кратковременным инъекциям позволяет предотвратить образование сплошного слоя нанокристаллического алмаза и дает возможность выращивать высококачественные микрокристаллические слои алмаза меж-

ду этапами инъекции азота.

21.05-01.96 К упрощенному описанию волн в бесстолкновительной плазме. Рухадзе А.А., Семёнов В.Е. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2020. 28, № 5, с. 460-464. Рус.

Цель предлагаемой методической заметки — сопоставить развитые А.А. Власовым и Л.Д. Ландау подходы к распространению электромагнитных волн в горячей разреженной плазме. Более полувека назад А.А. Власов и Л.Д. Ландау, используя метод кинетического уравнения, показали, что — в соответствии с принципом причинности — собственные волны равновесной плазмы должны затухать, даже если бинарное взаимодействие частиц пренебрежимо слабо. Однако долгое время близость пионерских теорий А.А. Власова и Л.Д. Ландау представлялась недостаточно очевидной. Чтобы минимизировать расхождения в подходах к кинетическим эффектам затухания—нарастания волн в бесстолкновительной плазме, данная заметка вместо метода кинетического уравнения предлагает более простой метод — основанный на использовании элементарных уравнений движения электронов. Для однородной плазмы с осесимметричным распределением электронов по возмущенным скоростям выведен интеграл, пригодный для того, чтобы рассчитать диэлектрическую проницаемость плазмы и, соответственно, получить дисперсионное соотношение для самосогласованной продольной волны. В частности, если скоростное распределение описывается достаточно плавной функцией, то — в соответствии с теорией Л.Д. Ландау — инкремент или декремент волны определяется производной от функции распределения электронов в точке их черенковского синхронизма с волной. В качестве простейшей модели рассмотрено распространение волны в плазме, где исходное распределение электронов по скоростям описывается функцией Лоренца. Декремент волны в этом случае совпадает с декрементом, который был получен в свое время А.А. Власовым, а при черенковском синхронизме на «хвосте» функции распределения этот декремент имеет величину, которая соответствует асимптотике Л.Д. Ландау. Таким образом, проведенный анализ подтвердил взаимное согласие теорий А.А. Власова и Л.Д. Ландау.

21.05-01.97 Пучково-плазменный разряд в космосе и в лаборатории. Шустин Е.Г. *Физика плазмы*. 2021. 47, № 6, с. 518-530. Рус.

Дан обзор процесса и приложений специфического вида газового разряда — пучково-плазменного разряда (ППР). Представлен краткий обзор теории ППР. Описаны основные свойства ППР в активных геофизических экспериментах с инжекцией электронных пучков в ионосферу Земли. Исследования физики ППР привели к обнаружению эффектов, которые успешно применяются в плазменных технологиях для обработки материалов и структур наноэлектроники.

21.05-01.98 О механизме возбуждения плазменных колебаний в твердых телах, исследованных методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей. Стожаров В.М., Хинич И.И. *Физика твердого тела*. 2021. 63, № 5, с. 677-679. Рус.

Рассмотрен механизм возбуждения плазменных колебаний в твердых телах методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей. Показано, что главную роль в возбуждении плазмонов в твердых телах играют медленные электроны, входящие благодаря вторично-электронному усилению в тонких поверхностных слоях твердого тела в состав многоэлектронных актов эмиссии в виде электронных пачек. Для карбида кремния проведен качественный расчет числа медленных вторичных электронов, порожденных рентгеновскими фотоэлектронами. Ключевые слова: плазмон, плазменные колебания, электрон, электронная пачка, квантовый выход.

Низкотемпературная акустика, звук в жидком гелии

21.05-01.99 Акустооптическая модуляция терагерцевого излучения в сжиженном элегазе при низких температурах. Никитин П.А. *Физические основы приборостроения*. 2021. 10, № 2, с. 60-63. Рус.

Исследована работа прототипа акустооптического модулятора терагерцевого излучения на основе сжиженного элегаза при температуре $+10^\circ$. Явление акустооптической дифракции излучения с длиной волны 130 мкм наблюдалось при угле Брэгга около 4° . Установлено, что эффективность дифракции достигает значения около 5% при амплитуде напряжения 75 В, что в 13 раз больше, чем при температуре сжиженного элегаза $+25^\circ\text{C}$.

Наноакустика, акустика тонких пленок и капель с наночастицами

21.05-01.100 Задержка формирования каверны в интрузивном режиме слияния свободно падающей капли с принимающей жидкостью. *Чашечкин Ю.Д., Ильиных А.Ю. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 496, № 1, с. 45-50. Рус.

Методами фото- и видеорегистрации впервые прослежена динамика формирования каверны в интрузивном режиме слияния свободно падающей капли, плавно втекающей в жидкость. Каверна начинает формироваться при погружении донной части капли, когда линия слияния стягивается к центру течения и одновременно с уничтожением поверхности капли восстанавливается поверхность принимающей жидкости. При этом изменяется ориентация тонких течений — лигаментов, образующихся в окрестности линии слияния. В начальной фазе они направлены наружу и распределяют импульс и энергию капли по всей поверхности интрузии. Стягивание линии слияния оставляет передаваемую энергию и импульс капли в пятне контакта. Если кинетическая энергия падающей капли заметно превосходит потенциальную поверхностную энергию, каверна начинает формироваться при первичном контакте и углубляется в течение всего процесса слияния, захватывая вещество капли.

21.05-01.101 Распад капли на отдельные волокна на границе области контакта с принимающей жидкостью. *Чашечкин Ю.Д., Ильиных А.Ю. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 31-35. Рус.

Впервые наблюдался процесс распада на волокна свободно падающей в воду капли (вода, насыщенный раствор железного купороса, ализариновые чернила) в окрестности линии слияния жидкостей. Проведена фото- и видеорегистрация эволюции картины течения. На дне каверны также визуализированы кольцевые капиллярные волны, охватывающие область слияния. Прослежены переносящие вещество капли тонкие радиальные струйки (лигаменты), сходящие с заостренных гребней возмущенной границы области слияния жидкостей. В режиме образования всплеска лигаменты продолжают в вене, пронизывая пленку и частично проникают в шипы на вершинах заостренных зубцов на ее кромке. Следы окрашенного веществом капли струек образуют линейчатые и сетчатые структуры, деформируемые течениями и расплывающиеся под действием диффузии. Брызги — последовательности растущих мелких капелек — вылетают с вершин шипов, размеры и угловое положение которых меняются со временем. Дополнительное ускорение жидкости в струйках связано с конверсией доступной потенциальной энергии при уничтожении свободных поверхностей сливающихся жидкостей.

21.05-01.102 Группы брызг импакта капли воды, свободно падающей в расплавленный металл. *Чашечкин Ю.Д., Якуш С.Е., Ильиных А.Ю. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 22-26. Рус.

Изменения состава групп капелек (брызг), вылетающих при падении в тигель с расплавом металла (сплав Розе при температуре 200°C) капли воды диаметром $D=0.42$ см со скоростью $U=3.3$ м/с, впервые прослежены методами фото- и видеорегистрации. В режиме образования всплеска группы мелких капелек воды последовательно выбрасываются с вершин шипов на пленке вокруг области первичного контакта, затем с шипов на кромке слоя растекания воды. Далее капельки воды вылетают вертикально и наклонно с вершин коротких струек — стримеров. Группы мелких капелек образуются при разрыве крупных пузырей. После формирования всплеска и отрыва его верши-

ны с взвешенными газовыми пузырьками наблюдается выброс капелек воды и составных капелек, состоящих из металлического ядра и водной оболочки. На последней стадии наряду со струйками воды наблюдаются более редкие стримеры, состоящие из расплава, с вершин которых вылетают капельки металла. Прослежена геометрия каверны и слоя вскипающей воды растекающейся капли.

21.05-01.103 Стеkanie пленки неньютоновской жидкости по наклонной плоскости с периодическим рельефом. *Могилевский Е.И. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 25-37. Рус.

Рассматривается течение тонкого слоя нелинейно-вязкой жидкости по наклонной плоскости под действием силы тяжести. Предполагается, что капиллярные силы существенны, реология описывается степенным законом. Изучается влияние малого периодического рельефа, нанесенного на плоскость, на характеристики стационарного течения и его устойчивость в линейном приближении; расчеты проводятся для синусоидального рельефа. Показано, что независимо от реологии пленка на плоскости имеет большую среднюю толщину, чем на гладкой при том же расходе, изменение средней толщины пропорционально второй степени амплитуды рельефа. Изменения коэффициентов усиления нормальных мод и критического числа Рейнольдса также пропорциональны второй степени амплитуды рельефа. Длинноволновый рельеф увеличивает критическое число Рейнольдса, причем для дилатантных жидкостей этот эффект достигается при меньших значениях периода, чем для псевдопластических.

Поверхностные волны в твердых телах и жидкостях

21.05-01.104 Волны Рэлея в однородной изотропной полуплоскости с периодическим краем. *Назаров С.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 499, № 1, с. 36-42. Рус.

Доказано существование волн Рэлея, распространяющихся вдоль периодической границы однородной изотропной полуплоскости с любым профилем края. Показано, что периодическое семейство трещин, перпендикулярных прямой границе полуплоскости, при возрастании их длин способно образовывать любое наперед заданное количество линейной независимых локализованных волн в низкочастотном диапазоне спектра, в том числе и стоячих, не переносящих энергию вдоль края. Результаты получены при помощи вариационных и асимптотических методов спектрального анализа модельной задачи в полуполосе с искривленным торцом и с условиями квазипериодичности на боковых сторонах.

21.05-01.105 Эволюция возмущений свободной поверхности от пульсирующего заглубленного источника в жидкости конечной глубины. *Ильичев А.Т., Саввин А.С. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 19-24. Рус.

Рассматривается плоская задача об эволюции возмущений поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины, вызванных заглубленным пульсирующим точечным источником, начинающим свою работу в изначально невозмущенной среде. Описан процесс установления поверхностных волн, распространяющихся симметрично в обе стороны от источника. Жидкость предполагается идеальной и несжимаемой, а ее движение — потенциальным.

21.05-01.106 Температурные свойства поверхностных акустических волн в кристаллах $\alpha\text{-GeO}_2$. *Тази-ев Р.М. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2020. 17, № 3, с. 284-289. Рус.

Проведено численное исследование температурных свойств поверхностных акустических волн (ПАВ) в кристалле $\alpha\text{-GeO}_2$, выращенного из расплава. Показано, что изменение скорости ПАВ существенным образом зависит только от изменения трех упругих постоянных: C_{66} , C_{44} , C_{14} для срезов, ориентации кристалла, где ПАВ имеет большие значения коэффициента электромеханической связи. ТКЗ волны для этих срезов находится в диапазоне -25 ppm/ $^\circ\text{C}$ до -50 ppm/ $^\circ\text{C}$. В отли-

чие от кристалла $a\text{-SiO}_2$, величина ТКЗ поверхностной волны для Z, Y-срезов и Z-повернутых срезов не равна нулю ни для одной ориентации кристалла $a\text{-GeO}_2$. Она сравнима по величине со значениями ТКЗ для поверхностной волны в танталате лития. Рассчитана частотная зависимость проводимости встречно-штыревых преобразователей (ВШП) ПАВ с числом электродов 100 и периодом структуры 20 микрон для кристалла $a\text{-GeO}_2$, выращенных из расплава и гидротермальным методом. Вытекающая акустическая волна, генерируемая в ВШП в Z^+ 120°, X-срезу кристалла, имеет коэффициент электро-механической связи, который в 5 раз меньше, чем ПАВ. Этот срез кристалла $a\text{-GeO}_2$ наиболее интересен для применений в устройствах на ПАВ.

21.05-01.107 Волны Лява в стратифицированной моноклинной среде. Кузнецов С.В., Мондрус В.Л. *Прикл. мат. и мех.* 2021. 85, № 3, с. 347-357. Рус.

Построена математическая модель для описания распространения волн Лява в слоистых анизотропных (моноклинных) средах. Для построения решения разработан модифицированный метод передаточных матриц (ПМ-метод). В замкнутом виде получены дисперсионные соотношения для сред, состоящих из одного и двух упруго анизотропных слоев контактирующих с анизотропным полупространством. Анализируются условия существования волн Лява. Исследованы волны с горизонтальной поперечной поляризацией неканонического типа. Ключевые слова: волна Лява, поверхностная волна, анизотропия, слоистая среда DOI: 10.31857/S0032823521030085.

21.05-01.108 О роли взрывного взаимодействия трех поверхностных волн в начальной стадии образования брызг при сильных ветрах. Козлов Д.С., Троицкая Ю.И. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. 57, № 2, с. 199-211. Рус.

Работа посвящена теоретическому исследованию гидродинамической неустойчивости границы раздела воды и воздуха, следствием развития которой может стать дробление по типу “парашют”, являющееся одним из основных источников брызг при ураганном ветре. Предложена гипотеза о том, что формирование начальных возвышений водной поверхности, которые подвергаются дроблению, обусловлено гидродинамической неустойчивостью возмущений ветрового дрейфового течения в воде. Рассмотрена слабонелинейная стадия неустойчивости в форме резонансного трехволнового взаимодействия. Установлено, что нелинейное резонансное взаимодействие триплета возмущений ветрового дрейфа, из которых одна волна направлена вдоль потока, а две другие — под углом к нему, приводит к взрывному росту амплитуд. В рамках кусочно-непрерывной модели профиля дрейфового течения найдены характерные временные и пространственные масштабы возмущений и показано, что их характерные зависимости от динамической скорости ветра согласуются с полученными ранее экспериментальными данными.

См. также **21.05-01.35**

Акустоэлектроника

21.05-01.109 Подвижность ионных носителей заряда в пьезоэлектрических кристаллах $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$. Сорokin Н.И., Писаревский Ю.В., Гребнев В.В., Ломонов В.А. *Физика твердого тела.* 2020. 62, № 3, с. 386-389. Рус.

Выполнены импедансные измерения монокристалла $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ с Ag-электродами в интервале частот $1\text{--}3\cdot 10^7$ Hz при комнатной температуре. Кристалл $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ (пр. гр $I4_1cd$, $Z=8$) ориентировался вдоль кристаллографической оси с. Из годографа импеданса системы $\text{Ag}|\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7|\text{Ag}$ выделены вклады от объема кристалла и границы кристалл/электрод. Обсуждается структурный механизм литийионного транспорта в кристаллах $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$. На основании электрофизических и структурных данных рассчитаны сквозная проводимость $\sigma_{dc}=2.3\cdot 10^{-9}$ S/cm, подвижность носителей заряда (вакансий V_{Li}^-) $\mu_{mob}=6\cdot 10^{-10}$ cm^2/sV и их концентрация $n_{mob}=2.4\cdot 10^{19}$ cm^{-3} (0.14% от количества лития в кристаллической решетке). Ключевые слова: ионная проводимость, тет-

рабрат лития, монокристаллы, импедансная спектроскопия.

21.05-01.110 Ангармонизм колебаний решетки и тепловые свойства твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$. Новиков В.В., Митрошенков Н.В., Кузнецов С.В., Попов П.А., Бучинская И.И., Каримов Д.Н., Кошелев А.В. *Физика твердого тела.* 2020. 62, № 4, с. 627-634. Рус.

Экспериментально изучены температурные изменения параметров кристаллической решетки $a(T)$ дифторидов кадмия и стронция, а также их взаимных твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$ ($x=0.23, 0.50$) при температурах $5\text{--}300$ К. Температурные зависимости объема элементарной ячейки изучаемых фторидов проанализированы в модели Дебая—Эйнштейна. Установлено повышенное влияние ангармонизма колебаний решетки растворов, обусловленное неупорядоченностью кристаллической структуры на их тепловые свойства. Определены параметры модели и характеристики ангармонического вклада. На основе полученных данных в модели Калауэя рассчитана концентрационная зависимость теплопроводности твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$ при $T=300$ К, сопоставленная с литературными экспериментальными данными. Показана возможность оценки теплопроводности монокристаллов твердых растворов изучаемой системы на основе данных о тепловых свойствах компонентов раствора, полученных на порошкообразных образцах. Ключевые слова: твердые растворы, параметры решетки, низкие температуры, тепловое расширение, теплопроводность.

21.05-01.111 Поперечные пьезо- и пирозлектрические эффекты в 2D-наноаллотропах нитрида бора, обусловленные риплообразованием. Бражес Р.А., Долгов Д.А. *Физика твердого тела.* 2020. 62, № 8, с. 1265-1269. Рус.

Показано, что образование рипплов (ряби) в структуре 2D-наноаллотропов нитрида бора приводит к возникновению в них поперечных пьезо- и пирозлектрических эффектов с зависящими от температуры коэффициентами. Рассчитана величина этих коэффициентов для различных 2D-наноаллотропов нитрида бора. Показано, что вследствие малой высоты рипплов поперечный пьезоэффект в рассматриваемых наноаллотропах на три порядка слабее продольного, в то время как пирозлектрический эффект вполне сравним с аналогичным эффектом во фторографанах и может найти практическое применение. Ключевые слова: нитрид бора, 2D-наноаллотропы, пьезо- и пирозлектрический эффекты.

21.05-01.112 Ab initio и экспериментальное исследование электронных, оптических и колебательных свойств CdGa_2Te_4 . Джахангирли З.А., Керимова Т.Г., Мамедова И.А., Набиева С.А., Абдуллаев Н.А. *Физика твердого тела.* 2020. 62, № 8, с. 1270-1277. Рус.

Электронные, оптические и решеточные колебательные свойства CdGa_2Te_4 исследованы экспериментально с использованием спектральной эллипсометрии, комбинационного рассеяния (КР) и инфракрасной (ИК) спектроскопии, а также теоретически с использованием теории функционала плотности (DFT). Семь раман-активных мод и одиннадцать ИК-активных мод были обнаружены и идентифицированы из рассмотрения точечной группы симметрии. На основе анализа электронного спектра и плотности энергетических состояний определен характер химической связи в этом полупроводниковом соединении. Теоретически рассчитанные результаты сравнены с экспериментальными данными настоящей работы и с результатами имеющихся в литературе экспериментальными данными, полученными методами инфракрасной спектроскопии и комбинационного рассеяния света. Ключевые слова: CdGa_2Te_4 , Раман, ИК-активные моды, дисперсия фононов, плотность состояний.

21.05-01.113 Совместное исследование диэлектрического и пьезотклика релаксора $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ в реальном масштабе времени при приложении электрического поля. Вакуленко А.Ф., Вахрушев С.В., Королева Е.Ю. *Физика твердого тела.* 2020. 62, № 10, с. 1670-1676. Рус.

Описан метод синхронного измерения сигнала пьезотклика и электрического импеданса для изучения процессов переключения поляризации во внешнем электрическом поле. С ис-

пользованием созданной методики исследованы процессы переключения в индуцированной электрическим полем сегнетоэлектрической фазе (FE) магнийниобата свинца. Показано, что при первичном возникновении FE-фазы формируется полидоменная структура со слабым пьезооткликом. Смена направления внешнего поля приводит к переключению поляризации, причем процесс переключения проходит через промежуточную стеклоподобную фазу. Тренировка образца путем многократного переключения приводит к резкому росту пьезоотклика, что может быть отнесено к формированию монокристаллического состояния. Ключевые слова: сегнетоэлектрики, релаксоры, пьезоотклик, фазовые переходы.

21.05-01.114 Квантовая теория пьезоэлектрического эффекта в редкоземельных ферроборатах. Попов А.И., Плохов Д.И., Звездин А.К. Физика твердого тела. 2021. 63, № 3, с. 385-392. Рус.

Развита квантовая теория пьезоэлектрического эффекта в редкоземельных ферроборатах. Установлено, что за возникновение эффекта отвечают преимущественно одноионные механизмы: при наличии механических напряжений в кристалле индуцируются дипольные электрические моменты непосредственно в электронных 4f-оболочках редкоземельных ионов, что приводит к поляризации кристалла. Количественно эффект рассмотрен на примере ферроборатов неодима и самария, в частности, в интервале от 0 до 300 К получены температурные зависимости пьезоэлектрических модулей. Дополнительно показано, что при температурах ниже точки Нееля при деформации кристалла в магнитном поле также возможно возникновение поляризованности кристалла вдоль кристаллографической оси с. Рассчитаны температурные, полевые и ориентационные зависимости магнитоиндуцированных пьезомодулей. Ключевые слова: пьезоэлектрический эффект, ферробораты, редкоземельные ионы, кристаллическое поле.

21.05-01.115 Ab initio и экспериментальное исследование колебательных свойств кристаллов TlFeS_2 и TlFeSe_2 . Джахангирли З.А., Велиев Р.Г., Мамедова И.А., Бадалова З.И., Мамедов Д.А., Мамедов Н.Т., Абдуллаев Н.А. Физика твердого тела. 2021. 63, № 10, с. 1637-1643. Рус.

Решеточные колебательные свойства кристаллов TlFeS_2 и TlFeSe_2 исследованы экспериментально с использованием комбинационного рассеяния (КР) и инфракрасного отражения (ИК) света, а также теоретически с использованием теории функционала плотности (DFT). Полное колебательное представление, составленное на основе анализа фактор групп симметрии, содержит 12 КР активных мод и 9 ИК активных мод. Из них экспериментально обнаружены и идентифицированы 6 КР активных и 3 ИК активных мод для TlFeS_2 , и 4 КР активных 3 ИК активных мод для TlFeSe_2 . Ключевые слова: оптические фононы, динамика решетки, первопринципные вычисления, группа симметрии, фононные спектры, дисперсия фононов.

21.05-01.116 Особенности поляризации пьезоэлектрической керамики на основе ниобата натрия. Малышкина О.В., Али М., Иванова А.И., Чернышова И.А., Мамаев Д.В. Физика твердого тела. 2021. 63, № 11, с. 1890-1894. Рус.

Проведены сравнительные исследования пьезоэлектрических свойств и структурных особенностей керамик ниобата натрия и ниобата натрия-калия, полученных при различных технологических условиях синтеза материала ниобата натрия. Методом рентгенофазового анализа выявлено существование дополнительной фазы с химической формулой $\text{NaNb}_{10}\text{O}_{18}$ в образцах керамики ниобата натрия, не проявляющих сегнетоэлектрических свойств. Показано, что температурные режимы синтеза материала ниобата натрия определяют характер макроскопической поляризации образцов как чистого ниобата натрия, так и ниобата натрия-калия. Ключевые слова: пьезоэлектрическая керамика, бессвинцовые материалы, поляризация, пьезоэлектрический эффект.

21.05-01.117 Расчеты из первых принципов колебательных спектров сверхрешеток CdSe/CdS . Лебедев А.И. Физика твердого тела. 2021. 63, № 12, с. 2038-2046.

Рус.

Из первых принципов методом функционала плотности рассчитаны колебательные спектры сверхрешеток (СР) CdSe/CdS с различной толщиной слоев. Показано, что наряду со сложными (folded) акустическими модами и ограниченными (confined) оптическими модами в СР возникает целый ряд ограниченных акустических мод, а в структурах с минимальной толщиной одного из слоев — также микроскопические интерфейсные моды типа локальной и щелевой мод. Анализ проекций собственных векторов колебательных мод в СР на ортонормированный базис нормальных колебаний в бинарных соединениях позволил установить особенности формирования этих колебательных мод и, в частности, определить степень перемешивания акустических и оптических колебаний. Сопоставление частот колебательных мод в СР и нанопластинках CdSe/CdS позволило разделить влияние эффектов размерного квантования и релаксации поверхности на частоты колебаний в нанопластинках. Ключевые слова: фононные спектры, полупроводниковые сверхрешетки, селенид кадмия, сульфид кадмия, наноструктуры.

Магнитоакустический эффект, осцилляции и резонанс

21.05-01.118 Фононные триады Борромео в магнетике. Мошкин В.В., Преображенский В.Л. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 12-16. Рус.

Сообщаются результаты экспериментального наблюдения связанных возбуждений трех попарно не взаимодействующих фононов, два из которых относятся к непрерывному, а третий к дискретному акустическим спектрам. Связь возбуждений регистрируется по генерации обратной акустической волны в поле поперечной электромагнитной накачки в антиферромагнитном кристалле $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Показано, что условием связи прямой и обратной фазосопряженных волн является возбуждение дополнительной акустической моды дискретного спектра подобно резонансу Фешбаха. Механизмом связи является модуляция нелинейного акустического параметра кристалла переменным магнитным полем.

21.05-01.119 Чувствительность электромагнитно-акустического метода многократной тени с использованием рэлеевских волн при контроле труб нефтяного сортамента. Муравьева О.В., Волкова Л.В., Муравьев В.В., Синцов М.А., Мышкин Ю.В., Башарова А.Ф. Дефектоскопия. 2020, № 12, с. 48-57. Рус.

Предложены алгоритмы обработки сигналов, полученные методом многократной тени с использованием рэлеевских волн, распространяющихся в направлении огибающей трубы, и электромагнитно-акустического способа излучения-приема. Представлены результаты исследования чувствительности метода к искусственным и естественным поверхностным и приповерхностным дефектам заготовок для производства буровых труб в двух частотных диапазонах. В качестве информативных параметров предложено использование многократного коэффициента выявляемости, а также вероятностных характеристик дисперсии, асимметрии и эксцесса при анализе серии многократных прохождений и обоснованы критерии браковки. Результаты исследований могут быть использованы при разработке автоматизированных установок и методик контроля труб малого диаметра.

Акустооптические эффекты, оптоакустика, акустическая визуализация, акустическая микроскопия и акустическая голография

21.05-01.120 Исследование композита: металлические наночастицы в диэлектрической матрице и многослойных полосоно-пропускающих фильтров на его основе. Беляев Б.А., Лексиков А.А., Тюрнев В.В., Шабанов Д.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 497, № 1, с. 5-11. Рус.

Исследованы частотные и концентрационные зависимости

эффективной комплексной диэлектрической проницаемости композита: наночастицы серебра в диэлектрической матрице из полистирола. Установлено, что с ростом объемной концентрации частиц в композите до ~33% действительная компонента его относительной диэлектрической проницаемости увеличивается с 2.6 до $\sim 10^3$, при этом вплоть до частоты 1 ТГц тангенс угла диэлектрических потерь не превышает 10^{-2} . Показана возможность создания на композитных слоистых структурах полосо-пропускающих фильтров, настройка которых осуществляется подбором концентрации частиц в четвертьволновых слоях зеркал, обеспечивающих оптимальное взаимодействие полуволновых резонаторов друг с другом, а крайних резонаторов — со свободным пространством. Высокий контраст диэлектрических проницаемостей матрицы и композита позволяет изготавливать зеркала с требуемой отражательной способностью на минимальном количестве слоев.

21.05-01.121 Влияние теплофизических свойств подложки на характеристики нелинейного фотоакустического сигнала непрозрачных сред. *Саллизов Т.Х., Мадвалиев У., Шарифов Д.М., Туйчиев Х.Ш. Журнал прикладной спектроскопии.* 2019. 86, № 6, с. 908-916. Рус.

21.05-01.122 Моделирование процесса получения стигматического изображения акустического объекта в акустооптическом устройстве визуализации. *Сучилин А.В., Никишин Е.Л., Павлова М.В. Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2021. 64, № 1, с. 56-62. Рус.

Рассмотрен метод акустооптической визуализации пространственно-неоднородных акустических полей, формируемых микрообъектом. Данный метод базируется на брэгговской дифракции в системе с двойным преобразованием Фурье. Среди преимуществ устройства, реализующего данный метод, отмечается высокая разрешающая способность. Аналитически показано, что по сравнению с хорошо известной техникой визуализации А. Корпела изображения акустических микрообъектов, получаемые с помощью приборов на основе предлагаемого метода, свободны от астигматизма. В результате теоретического анализа механизма действия данного устройства получены уравнения для расчета геометрических параметров оптического изображения акустического микрообъекта.

21.05-01.123 Численное моделирование гомогенной конденсации аргона в сверхзвуковом сопле. *Корепанов М.А., Алыс М.Ю., Митрюкова Е.А. Химическая физика и мезоскопия.* 2021. 23, № 2, с. 145-153. Рус.

Проведено численное моделирование течения инертного газа (аргона) в коническом сопле с диаметром критического сечения 340 мкм. Проведены параметрические исследования по влиянию параметров торможения (начального давления) на характеристики потока и точку начала конденсации. Показано, что процесс гомогенной конденсации в рассматриваемых условиях идет, и начальное давление оказывает влияние на точку начала конденсации (точку Вильсона) и конечные размеры получаемых в сопле частиц конденсата. С ростом начального давления температура точки Вильсона растет так же как и размер частиц конденсата, что соответствует рассмотренной в работе математической модели процесса. Также отмечено отсутствие точек перегиба на кривой температуры, что может быть объяснено очень малыми размерами рассматриваемого сопла.

21.05-01.124 Преобразование термооптически возбуждаемых широкополосных импульсов продольных акустических волн в импульсы сдвиговых волн в изотропной твердотельной пластине в жидкости. *Подымова Н.Б., Карабутов А.А. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 482-492. Рус.

Теоретически проанализированы временные профили широкополосных импульсов сдвиговых акустических волн, получаемых в результате преобразования термооптически возбуждаемых импульсов продольных волн при падении под различными углами на плоскопараллельную изотропную твердотельную пластину, помещенную в иммерсионную жидкость. Показано, что при определенном угле падения временная форма импульса сдвиговых волн в пластине повторяет форму падающего импульса продольных волн. Для сравнения теоретиче-

ских и экспериментальных результатов исследовалось преобразование термооптически возбуждаемых импульсов продольных волн в импульсы сдвиговых волн и обратно в алюминиевой и кварцевой плоскопараллельных пластинках, помещенных в дистиллированную воду. Экспериментальные временные профили ультразвуковых импульсов совпадают с теоретически рассчитанными профилями за исключением увеличенной длительности экспериментальных импульсов. На основе такой схемы двойного преобразования предложена и экспериментально реализована методика широкополосной акустической спектроскопии продольных и сдвиговых волн с термооптическим источником ультразвука в спектральном диапазоне 1–40 МГц. Ключевые слова: сдвиговые акустические волны, лазерное возбуждение ультразвука, широкополосная акустическая спектроскопия, коэффициенты затухания ультразвуковых волн. DOI: 10.31857/S0320791921040110.

21.05-01.125 Формирование фотоакустического отклика в двуслойной структуре полимер/гель. *Андрюсенко Д.А., Алексеев А.Н., Кузмич А.Г., Лазаренко М.М., Васильев С.В., Бурбело Р.М. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 2, с. 358-364. Рус.

Проведены экспериментальные исследования процессов формирования фотоакустического отклика от слоистой структуры полиэтилен/гидрогель при ее облучении периодически модулированным светом. Тепловые источники расположены в геле, вблизи границы раздела с полиэтиленом. Отклик в форме колебаний давления газа в фотоакустической ячейке возникает вследствие термоупругой деформации слоя полиэтилена при его неоднородном по толщине нагреве температурной волной. Полученные результаты могут быть полезными для модификации методов, основанных на процессах диффузии в гелях. Ключевые слова: фотоакустический эффект, температурная волна, "drum effect" модулированный свет, агароза, газомикрофонный метод, термоупругие деформации, диффузия, гидрогель.

21.05-01.126 Акустооптические модуляторы с расширенной частотной полосой для волоконно-оптических линий. *Епишин В.М., Рябинин А.В. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 6, с. 1023-1027. Рус.

Разработан и изготовлен модулятор-частотосдвигатель с одномодовыми волоконными световодами на длину волны излучения 1064 нм. Световой пучок фокусировался в центре звукового столба. Время переключения модулятора ≈ 18 нс. Режим работы: импульсный, непрерывный. Общие оптические потери на центральной частоте -3.2 дБ. Получено выражение для частотной полосы приема модулятора. Оценки дают хорошее согласие с данными эксперимента ≈ 40 МГц. Показано, что использование схемы с фокусированным пучком дает возможность реализовать модулятор с минимальным временем переключения $\approx 2-3$ нс и частотной полосой приема $\approx 200-300$ МГц. Ключевые слова: акустооптические модуляторы, одномодовые волоконные световоды, время переключения, частотная полоса модулятора, частотная полоса переключения, частотная полоса согласования излучателя акустической волны, частотная полоса приема, ширина частотной аппаратной функции.

21.05-01.127 Акустооптическое управление энергетическим 2D-профилем лазерного луча. *Антонов С.Н., Резвов Ю.Г. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 8, с. 1269-1275. Рус.

Рассмотрено акустооптическое управление энергетическим профилем лазерного излучения. Использован высокоэффективный многолучевой режим брэгговской дифракции с комбинацией близких в угловом пространстве лучей, формирующих усредненную картину в виде единого луча. При этом двумерный профиль интенсивности реализован в виде произведения двух независимых одномерных профилей. На базе поляризационно-независимого двухкоординатного акустооптического дефлектора экспериментально получены несколько профилей (в том числе близкий к равномерному) при суммарной эффективности не ниже 85% и времени смены профиля около 10 μ s. Данный метод может быть использован в системах обработки материалов мощными лазерами. Ключевые слова: лазер, поляризация света, анизотропная акустооптическая дифракция, акустооптический дефлектор, пьезопреобразователь,

эффективность дифракции, энергетический профиль лазерного излучения.

21.05-01.128 К теории генерации нелинейного фотоакустического сигнала при газомикрофонной регистрации. *Салихов Т.Х., Мадвалиев У., Шарифов Д.М., Туйчиев Х.Ш. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 1, с. 1608-1618. Рус.

Предложена теория генерации первых двух гармоник нелинейного фотоакустического сигнала твердотельным образцом с произвольным значением теплопроводности. Для предельных случаев (термически тонких и толстых образцов) получены достаточно простые выражения зависимости амплитуды возбудяемого фотоакустического сигнала от степени черноты образца и теплофизических параметров образца, газа и подложки, включая их термические коэффициенты. Ключевые слова: фотоакустика, тепловая нелинейность, вторая гармоника.

21.05-01.129 Акустооптический дефлектор на парателлурите — повышение тепловой стабильности параметров. *Антонов С.Н., Резвов Ю.Г. Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 5, с. 100-104. Рус.

Экспериментально исследованы явления, возникающие при внутреннем нагреве (выделении управляющей радиомощности) акустооптического дефлектора на основе парателлурита с отводом тепла от пьезопреобразователя через жидкостный контакт. Установлено, что, кроме температурного дрейфа скорости звука и показателей преломления, существенное влияние на характеристики дефлектора оказывает температурная неоднородность. При этом объем кристалла ведет себя как оптический клин — более оптически плотный у преобразователя, и менее плотный — при удалении от него. Обнаружен эффект внутренней компенсации тепловой девиации положения дифрагированного луча при определенной ориентации дефлектора.

21.05-01.130 Акустооптический модулятор для лазерных доплеровских анемометров потоков жидкости и газа. *Антонов С.Н., Резвов Ю.Г. Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 5, с. 105-109. Рус.

Рассмотрена схема лазерного доплеровского двухлучевого анемометра потока жидкости или газа на основе акустооптического модулятора на кристалле TeO_2 , выполняющего функции делителя луча и сдвигателя частоты света. Показано, что режим акустооптической дифракции — аксиальное двухфононное взаимодействие на медленной акустической моде — наиболее оптимален для схем анемометров. В этом режиме формируются два равноинтенсивных дифрагированных луча с противоположными поляризациями, разность частот между которыми равна удвоенной частоте ультразвука. Выполнен расчет частоты параметров модулятора для анемометров с различными длинами волн света.

См. также **21.05-01.98**, **21.05-01.99**, **21.05-01.100**, **21.05-01.102**, **21.05-01.109**, **21.05-01.110**, **21.05-01.111**, **21.05-01.112**, **21.05-01.113**, **21.05-01.114**, **21.05-01.115**, **21.05-01.116**, **21.05-01.117**

Термоакустика, высокотемпературная акустика, фотоакустический эффект

21.05-01.131 Теплообмен и ионизация при неравномерном обтекании затупленной пластины гиперзвуковым потоком. *Суржиков С.Т. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 109-124. Рус.

Выполнено расчетное исследование процессов теплообмена и ионизации воздуха у поверхности затупленных пластин с радиусами затупления $R_n = 0.2$ и 0.66 см, обтекаемых газом в широком диапазоне параметров набегающего потока. Построены поля температур поступательных и колебательных степеней свободы молекулярных компонент, концентраций атомарных и молекулярных компонент, а также электронных концентраций вблизи поверхности. Рассчитанные плотности конвективных тепловых потоков сравниваются с данными, предсказываемыми корреляционными соотношениями Фейя—Риддела, Детры—Кэмпа—Риддела и Фенстера. В рассмотренных случаях объемная доля ионизованных компонент не превосходит 1%.

Однако выделены режимы слабой и сильной ионизации. Граница между этими двумя режимами определена в работе по величине критической электронной концентрации, определяемой для частот $3.3\text{—}35$ ГГц радиоволн, использованной с целью измерения электронных концентраций в летном эксперименте RAMC-2.

21.05-01.132 Экспериментальное и численное моделирование теплообмена поверхности графита в недорасширенных струях диссоциированного азота. *Колесников А.Ф., Лукомский И.В., Сахаров В.И., Чаплыгин А.В. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 136-144. Рус.

На индукционном ВЧ-плазматроне ВГУ-4 (ИПМех РАН) проведены эксперименты по теплообмену в недорасширенных сверхзвуковых струях высокоэнтальпийного азота с графитовым образцом при давлении в барокамере 8.5 гПа, расходе газа через разрядный канал 3.6 г/с, мощности ВЧ-генератора 64 кВт. Использовались водоохлаждаемые конические сопла с диаметрами выходных сечений 30 , 40 и 50 мм. Для условий экспериментов в сверхзвуковых режимах численным методом в рамках уравнений Навье—Стокса и упрощенных уравнений Максвелла выполнено моделирование течений плазмы азота в разрядном канале плазматрона и обтекания недорасширенными струями диссоциированного азота цилиндрической державки с графитовым образцом. Из сопоставления экспериментальных и расчетных данных по тепловым потокам к поверхности образца определен эффективный коэффициент гетерогенной рекомбинации атомов азота на поверхности графита при температурах $2273\text{—}2500$ К.

См. также **21.05-01.15**, **21.05-01.106**

Ультразвук в неразрушающем контроле, промышленных технологиях и изделиях

21.05-01.133 Общее решение задачи рассеяния упругих волн на плоской трещине. *Алешин Н.П., Кирилов А.А., Могильнер Л.Ю., Савелова Е.П. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 499, № 1, с. 58-65. Рус.

Рассмотрена 3D-задача рассеяния упругих волн на трещинах в однородной изотропной среде. Используя метод функции Грина и специально введенные вспомогательные функции (потенциалы), показано, как в общем случае для плоских трещин граничные условия можно разделить на две независимые части, одна из которых представляет собой систему из двух дифференциальных уравнений, решение которой приводит к волнам Рэлея на поверхностях трещины, а вторая включает одно дифференциальное уравнение, сведенное к аналогичному для рассеяния акустической волны на абсолютно жестком включении. На примере рассеяния на трещине в виде диска показано, что выражения для рассеянных полей могут быть сведены к квадратурам, что актуально, например, для исследования явления трещин методами ультразвуковой дефектоскопии.

21.05-01.134 Изучение парамагнитных свойств графеновых структур, полученных при воздействии ультразвука на чистый графит в органических реагентах. *Байтмбетова Б.А., Рябикин Ю.А., Мукашев Б.Н. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 2, с. 21-26. Рус.

Для получения графена предлагается использовать воздействие ультразвукового поля на органические реагенты и чистый графит. В качестве органических реагентов были взяты толуол, бензол, керосин и перекись водорода. Приводятся экспериментальные результаты изучения графенов в рассматриваемых системах. Графенные структуры образуются при химическом взаимодействии данных органических растворителей с графитом. Это ведет к разрушению слабых углеродных связей между графитовыми плоскостями. Отметим, что ультразвуковое поле способствует более эффективному разрушению ван-дер-ваальсовских связей между графитовыми плоскостями. Применение перечисленных органических растворителей в отличие от других методов, использующих кислоты и растворы щелочей, обеспечивает более эффективный путь получе-

ния графеновых структур. Приведены результаты исследования графеновых структур методом спектроскопии электронного парамагнитного резонанса и дано их обсуждение.

21.05-01.135 Воздействие ультразвуковых колебаний на стабильность эмиссии точечного автокатода. *Зайцев С.В., Бабаев В.П., Иншакова К.А., Зидан О.Д., Шешин Е.П., Косарев И.Н., Кудряшов А.В., Маснаевич Б.И.* Тр. МФТИ. 2021. 13, № 3, с. 118-121. Рус.

21.05-01.136 Верификация математической модели акустического тракта ультразвукового метода измерения расстояний до нагретой вертикальной пластины в присутствии естественной конвекции. *Воронина А.В., Павлов С.В.* Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021, № 2, с. 63-76. Рус.

Актуальность и цели. Представлена математическая модель акустического тракта ультразвукового метода измерения расстояний до нагретой вертикальной пластины, разработанная в приближении геометрической акустики. На основании модели выделены факторы, влияющие на результат измерения времени распространения ультразвуковых волн. Целью работы является оценка применимости модели при разработке ультразвуковых эхо-импульсных измерительных систем. Материалы и методы. Верификация модели акустического тракта проводилась путем сопоставления численных и экспериментальных данных, полученных авторами при моделировании воздействия различных факторов на результаты измерений ультразвукового метода. Результаты и выводы. В результате проведения верификации показано, что расчетные данные, полученные с использованием разработанной модели, дают хорошее согласие с экспериментальными данными. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что представленная модель может использоваться при разработке измерительных систем, основанных на ультразвуковом эхо-импульсном методе.

21.05-01.137 Исследование случаев "аномального" затухания ультразвуковых колебаний в заготовках из никелевых жаропрочных сплавов. *Далин М.А., Чертищев В.Ю., Краснов И.С., Раевских А.Н.* Дефекто-

скопия. 2020, № 12, с. 37-47. Рус.

В нескольких штампованных поковках из никелевых жаропрочных сплавов двух марок при проведении ультразвукового неразрушающего контроля было обнаружено новое явление — локальное снижение амплитуды донного эхосигнала, которое сопровождалось наличием крупных (более 20 мм), хаотично разбросанных по поверхности полуфабриката зон со значительными (до 1,5%) флуктуациями скорости распространения продольной ультразвуковой волны. При этом разнородности или крупнозернистой структуры, обычно вызывающих увеличение коэффициента затухания ультразвуковых волн в таких сплавах и являющихся причинами снижения амплитуды донного эхосигнала, в материале обнаружено не было. В статье описаны исследования, проведенные для установления физических причин обнаруженной макроскопической неоднородности скорости и ее связи с падением амплитуды донного сигнала.

21.05-01.138 Экспериментальное исследование дифракции упругих волн на модели трещины. *Алешин Н.П., Крысько Н.В., Козлов Д.М., Кусый А.Г.* Дефектоскопия. 2021, № 1, с. 15-22. Рус.

Для имитации трещин в стыковых сварных швах использованы пазы с малым раскрытием. Проведено исследование влияния ориентации ребер пазов на их выявляемость при использовании эхо- и дифракционных методов ультразвукового контроля. Показано, что процессы, происходящие при рассеянии упругих волн на трещинах, необходимо моделировать трехмерной задачей. Однако теоретические аналитические и численные исследования в данной области чаще всего касаются двумерных задач дифракции упругих волн, когда исследуемое ребро мишени расположено на акустической оси источника и/или приемника ультразвука и ориентировано перпендикулярно падающему лучу. В статье приведены экспериментальные результаты, иллюстрирующие влияние ориентации острого (ребра) мишени в трехмерных задачах на принимаемые сигналы как при использовании дифракционных схем типа TOFD, так и в классическом ультразвуковом контроле эхометодом по схеме «тандем» и с разворотом преобразователей по схеме «дзёт».

Акустика океана, гидроакустика

Звук в глубоком море, подводный звуковой канал

21.05-01.139 Амплитудная и фазовая структура низкочастотного гидроакустического поля в глубоком океане. *Аженов С.П., Кузнецов Г.Н.* Акустический журнал. 2021. 67, № 5, с. 493-504. Рус.

Исследуется распределение в глубоком море звукового давления и градиентов фазы вдоль трасс распространения сигналов в ближней и дальней зонах акустической освещенности, а также в зоне тени. Показано, что характеристики поля, сформированные вытекающими, захваченными и водными модами, существенно различаются. Установлено, что в зонах интерференционных максимумов градиенты фазы гладкие и, по аналогии с мелким морем, могут быть описаны с использованием эффективных фазовой и групповой скоростей. Показано, что характеристики эффективных фазовой и групповой скоростей для вытекающих и захваченных мод при вариации расстояния, глубин приема и излучения, а также частоты звукового давления являются устойчивыми и определяются единичными инвариантными зависимостями от расстояния. Предложены аналитические соотношения для описания этих зависимостей. Установлено, что величины эффективных фазовой и групповой скоростей в зонах с доминирующими водными модами практически равны средней величине скорости звука в воде. Даны рекомендации по применению зависимостей эффективных фазовой и групповой скоростей при пеленговании шумовых источников. Ключевые слова: глубокий океан, вытекающие, захваченные и водные моды, законы спадания, градиенты фазы, инвариантные значения эффективной фазовой и групповой скорости, несмещенные

оценки пеленга. DOI: 10.31857/S0320791921040018.

21.05-01.140 Звукоподводная связь с использованием вертикальных приемных антенн в мелководных акваториях с ледовым покровом. *Волков М.В., Луньков А.А., Петников В.Г., Шатрапин А.В.* Океанология. 2021. 61, № 4, с. 649-661. Рус.

В натурном эксперименте и в рамках численного моделирования продемонстрированы возможности звукоподводной связи в мелководной акватории, покрытой льдом. Исследованы преимущества применения вертикальных линейных приемных антенн различной длины и с разным числом гидрофонов. Анализировалась ситуация, когда глубина акватории много меньше, чем расстояние до приемной антенны. Выполнен сравнительный анализ нескольких алгоритмов пространственной обработки сигналов с двоячной фазовой манипуляцией и несущей частотой около 1 кГц при различных скоростях передачи информации. Эксперимент был проведен на оз. Байкал при толщине ледового покрова ≈ 66 см и при интенсивных акустических шумах, связанных с образованием трещин на поверхности льда. Показано, что в случае применения вертикальной антенны коэффициент битовых ошибок можно снизить более чем в 3 раза по сравнению с одиночным приемником.

Акустика мелкого моря

21.05-01.141 Применение вертикальных приемных антенн для звукоподводной связи в неоднородном волноводе с ледовым покровом. *Волков М.В., Луньков А.А., Макаров М.М., Петников В.Г., Шатрапин А.В.* Доклады Российской академии наук. Физика, тех-

нические науки. 2021. 496, № 1, с. 65-68. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований звукоподводной связи на частотах 500—1000 Гц с применением вертикальных цепочек гидрофонов (линейных антенн). Эксперименты проведены в прибрежной, покрытой сплошным льдом области озера Байкал. Продемонстрировано, что использование вертикальных антенн в мелководной акватории с ледовым покровом позволяет эффективно подавлять естественные фоновые шумы, когда такие приемные модули перекрывают весь водный слой по глубине. Это дает возможность на порядок снизить уровень ошибок при передаче информации по сравнению с приемом на одиночный гидрофон.

21.05-01.142 Комплекс программ для расчета акустических полей в мелком море на основе метода широкоугольных модовых параболических уравнений. *Тыщенко А.Г., Заикин О.С., Сороин М.А., Петров П.С. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 533-541. Рус.

Представлено описание комплекса прикладных программ для расчета звуковых полей в трехмерных волноводах мелкого моря общего вида. Данный комплекс программ представляет собой реализацию алгоритма численного решения широкоугольных модовых параболических уравнений на языке C++. При выполнении расчетов пользователь может задавать поле скорости звука, рельеф дна и структуру его слоев, используя конфигурационные файлы. Результатом работы программного комплекса являются один или несколько горизонтальных разрезов поля акустического давления на заданных горизонтах. Одним из основных достоинств реализованной методики расчета трехмерных звуковых полей является ее высокая вычислительная эффективность. Разработанный программный комплекс размещен в свободном доступе в сети Интернет и может представлять интерес для широкого круга специалистов по акустике океана, занимающихся моделированием распространения звука при решении различных прикладных задач. Ключевые слова: модовые параболические уравнения, акустика мелкого моря, широкоугольные параболические уравнения, граничные условия прозрачности, программный комплекс. DOI: 10.31857/S0320791921050117.

Взаимодействие звука с внутренними волнами и течениями

21.05-01.143 Внутренние гравитационные волны от осциллирующего источника возмущений в океане. *Булатов В.В., Владимиров Ю.В., Владимиров И.Ю. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. 57, № 3, с. 362-371. Рус.

Рассмотрена задача о генерации внутренних гравитационных волн локализованным источником возмущений. Осциллирующий источник находится в океане с произвольными распределениями по глубине частоты плавучести и фонового сдвигового течения. Получены интегральные представления решений при выполнении условия устойчивости Майлса—Ховарда. Для решения спектральной задачи предложен численный алгоритм расчета основных дисперсионных зависимостей, которые определяют фазовые характеристики генерируемых волн. Для характерных распределений частоты плавучести и фоновых сдвиговых течений, наблюдаемых в океане, приведены результаты численных расчетов дисперсионных кривых и фазовых картин волновых полей. Численно изучена трансформация фазовых картин полей внутренних гравитационных волн в зависимости от параметров генерации.

См. также **21.05-01.30**

Лучевое распространение звука в океане

21.05-01.144 Верификация модельных оценок генерации турбулентной энергии поверхностными волнами по натурным данным. *Чухарев А.М. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. 57, № 5, с. 595-601. Рус.

Верхний пограничный слой моря в наибольшей степени подвержен воздействию атмосферы, и формирующиеся в нем дви-

жения оказывают значительное влияние на горизонтальные и вертикальные потоки тепла, импульса, растворенных веществ и других субстанций. Вертикальный турбулентный обмен в данном слое определяется действием сразу нескольких механизмов, одним из которых является поверхностное волнение. Оценки вклада волнения в общую генерацию турбулентности выполнялись многими исследователями с использованием различных подходов. Для верификации предлагаемых моделей генерации турбулентности использованы экспериментальные данные об интенсивности турбулентных пульсаций скорости в приповерхностном слое моря, полученные на океанографической платформе. Скорость диссипации турбулентной энергии рассчитывалась по вертикальной компоненте пульсаций вектора скорости, с привлечением гипотез Колмогорова и гипотезы “замороженной турбулентности” Тэйлора. Сопоставление модельных и экспериментальных данных величин скорости диссипации показало справедливость основного предположения о том, что интенсивность индуцированной волнами турбулентности зависит от энергетических характеристик волнения. В то же время натурные данные убывают с глубиной значительно медленнее расчетных. Возможным объяснением может быть влияние турбулентной диффузии и сдвиговых эффектов, а также недостаточно адекватная параметризация трансформации волновой энергии в турбулентность.

Обратное рассеяние, эхо, реверберация на комбинациях границ

См. **21.05-01.144**

Рассеяние на шероховатой поверхности

21.05-01.145 Многократное рассеяние океанического шума на ветровом волнении в мелком море. *Равевский М.А., Бурдуковская В.Г. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 514-520. Рус.

Проведено теоретическое исследование динамических шумов океана в условиях многократного рассеяния акустического поля на анизотропном ветровом волнении. Обсуждается влияние эффектов рассеяния на угловой и модовый спектры шумового поля. Приведены результаты численного моделирования статистических характеристик шума для гидрологических условий Баренцева моря в зимний период. Ключевые слова: шум, океанический волновод, ветровое волнение, многократное рассеяние, статистические характеристики. DOI: 10.31857/S0320791921050075.

Акустика морских осадков, ледяного покрова, подводная сейсмоакустика

21.05-01.146 Быстрое моделирование распространения волн цунами на ПК за счет аппаратного ускорения исполнения кода. Fast modelling of tsunami wave propagation using PC with hardware computer code acceleration. *Laurentiev M.M., Marchuk A.G. Журнал Сибирского Федерального университета. Математика и физика.* 2021. 14, № 4, с. 433-434. Англ.

За счет применения микросхемы вентиляционной матрицы, программируемой пользователем (Field Programmable Gates Array — FPGA), достигается значительное ускорение расчета распространения волн цунами на современном обычном персональном компьютере. Для численной аппроксимации системы уравнений мелкой воды использовалась двухступенчатая схема Мак-Кормака. На базе проведенных численных тестов авторы описывают идею моделирования распространения волн цунами на базе ПК. Проведенное сравнение с известными аналитическими решениями и с эталонным кодом показывает хорошую точность разработанного программного приложения. Расчет одного часа распространения волны занимает меньше 1 минуты на сетке 3000×2500 узлов. Используя технологию вложенных сеток, можно перейти от расчетной сетки с шагом 300 м до сетки с шагом 10 м. При использовании предложенного Калькулятора, весь вычислительный процесс (для расчета распространения волн от очага до берега) занимает около 2 мин. Получено рас-

пределение максимальных высот волн цунами вдоль побережья южной части Японии. В частности, исследуется зависимость максимальных высот волн от конкретного местоположения источника цунами. Модельный источник размером 100×200 км имеет реалистичные параметры для этого географического региона. Результаты численных экспериментов показывают, что только на отдельных участках всей береговой линии наблюдаются опасные амплитуды волн цунами. Наличие аномально высоких волн цунами в некоторых из этих районов могут быть вызваны особенностями локальной батиметрии. Предлагаемое аппаратное ускорение вычисления распространения волн цунами может быть использовано для быстрой (скажем, за несколько минут) оценки опасности цунами для конкретного населенного пункта или промышленного объекта на побережье.

21.05-01.147 Влияние неровностей дна на распространение каустических пучков в океанических волноводах. *Петузов Ю.В., Бородина Е.Л. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 505-513. Рус.

С использованием геометроакустического приближения и параболического уравнения исследованы закономерности пространственного распределения интенсивности акустического поля, формируемого при взаимодействии каустического пучка с неровностями дна в относительно мелководном океаническом волноводе с открытым ко дну подводным звуковым каналом. Показано, что при выполнении определенных условий в океаническом волноводе формируется многопучковая структура пространственного распределения интенсивности акустического поля. Ключевые слова: океанические волноводы, подводные звуковые каналы, тональное излучение, вертикальные антенны, каустические пучки, неровности дна. DOI: 10.31857/S0320791921050063.

21.05-01.148 О развитии волновых возмущений донной поверхности в реках и каналах. *Потапов И.И., Силакова Ю.Г. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2021. 57, № 2, с. 212-217. Рус.

На основе аналитической модели расхода влекомых наносов, учитывающей влияние уклонов донной поверхности, придонных нормальных и касательных напряжений на движение донного материала и аналитического решения, позволяющего определять придонные касательные и нормальные напряжения, возникающие при обтекании турбулентным потоком периодических длинных донных волн малой амплитуды, сформулирована и решена задача определения скорости роста амплитуды донной волны. Из решения задачи получена аналитическая зависимость, определяющая скорость роста амплитуды донных волн от текущего значения ее амплитуды. На примере развития периодической синусоидальной донной волны малой крутизны выполнена верификация, которая показала хорошее качественное и количественное согласование полученного решения с экспериментальными данными.

См. также **21.05-01.67**

Подводные шумы, механизмы генерации и характеристики полей

21.05-01.149 Линии равных фаз звукового давления в пространственно-частотной области гидроакустического поля. *Кузнецов Г.Н., Степанов А.Н. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 62-66. Рус.

Впервые показано существование линий равных фаз в пространственно-частотной области и получено дифференциальное уравнение для их расчета применительно к комплексным спектрам звуковых сигналов в волноводе. Показано, что такие линии связаны с фазовым инвариантом, аналогичным известному интерференционному инварианту Чупрова, но имеющему иной физический смысл: они рассчитываются на фазовой плоскости, а не с использованием поля интенсивности. Эти линии постоянной фазы устойчивы, слабо зависят от условий распространения сигналов и позволяют выполнять оптимизированную обработку слабых сигналов для их обнаружения на фоне помех.

Компьютерное моделирование в гидрофизике и гидроакустике

21.05-01.150 Прогноз эффективной скорости распространения акустических сигналов на основе модели циркуляции океана. *Сорокин М.А., Петров П.С., Каплунович Д.Д., Голов А.А., Моргунов Ю.Н. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 521-532. Рус.

Обсуждается возможность использования данных моделирования циркуляции океана для оперативного прогноза эффективных скоростей распространения импульсных акустических сигналов на шельфе и в глубоком океане. Определение и прогнозирование этих скоростей является критически важным для надежной работы систем акустической навигации и дальнометрии, однако протяженность трасс и требования к оперативности прогноза практически исключают использование в этих целях прямых измерений. На примере анализа экспериментальных данных, полученных на акустической трассе протяженностью около 200 км, показано, что гидрологический разрез, построенный вдоль этой трассы с использованием данных модели циркуляции океана NEMO, позволяет с достаточно высокой точностью рассчитать эффективные скорости распространения импульсных акустических сигналов от источника на шельфе в глубоководную часть Японского моря. Используемая нами методика расчета эффективных скоростей основана на адиабатической модовой теории распространения звука на шельфе, а также на том факте, что в глубоководной части трассы групповые скорости мод малых номеров лишь незначительно отличаются друг от друга. Ключевые слова: шельф-глубокий океан, импульсный сигнал, времена прихода, групповые скорости, акустическая дальнометрия. DOI: 10.31857/S0320791921050087.

См. также **21.05-01.142**

Атмосферная и аэроакустика

Инфразвуковые и акустико-гравитационные волны

21.05-01.151 Гистограммы, кумулянты и спектры механических и ветровых волн в ветро-волновом канале. *Полников В.Г. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 84-97. Рус.

С целью изучения взаимосвязи статистических характеристик волнения на поверхности воды и закономерностей их изменчивости построены гистограммы, а также рассчитаны кумулянты и спектры для механических и ветровых волн в ветро-волновом канале. Анализируется многообразие гистограмм волн различной природы и их изменчивость с измене-

нием типа и параметров волн, а также с разгоном волн. Отмечается регулярность в отклонении от гауссова распределения амплитуд волн, в числовом виде представленная их кумулянтами. С учетом закономерностей эволюции частотного спектра установившихся волн вдоль канала утверждается, что изменчивость статистик волн однозначно определяется изменчивостью формы их спектра, а не отдельными характеристиками системы (разгон, крутизна или возраст волн). Дается теоретическое обоснование приведенному утверждению.

21.05-01.152 Направленность излучения низкочастотного атмосферного звука, возбуждаемого источниками в воде. *Лебедев А.В. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 542-550. Рус.

Рассмотрен вопрос о направленности излучения атмосферного инфразвука, возбуждаемого монопольным и дипольным источниками, помещенными в водную среду. Показано, что существуют два типа эквивалентных вторичных источников, которые размещены на границе раздела сред. Один из источников является локальным, и его характеристики полностью определяются ближним полем первичного источника. Второй источник является распределенным и связан с наличием вертикальных возмущений поверхности, которые распространяются со скоростью звука в воде вдоль границы раздела сред. Из-за сильного ослабления амплитуды по мере увеличения расстояния от первичного источника такой вторичный источник имеет широкую диаграмму направленности. Представленные в статье качественные рассуждения и результаты численного моделирования позволяют определить диаграмму направленности низкочастотного звукового излучения в воздухе в зависимости от типа и глубины погружения первичного источника, что может быть использовано для дистанционного исследования свойств атмосферы вблизи морской поверхности и свойств самой поверхности. DOI: 10.31857/S0320791921050038.

21.05-01.153 Инфразвуковые станции КИЗ для геофизических исследований и мониторинга. *Иванов В.Н., Русаков Ю.С. Приборы и техника эксперимента.* 2020, № 5, с. 117-126. Рус.

Описаны инфразвуковые станции КИЗ (комплекс инфразвуковой), созданные в НПО "Тайфун" (г. Обнинск) и автономно работающие на протяжении ряда лет в нескольких пунктах РФ. Практически все элементы станций: конфигурация, микробарометры, ветровые фильтры, система сбора и передачи данных, аппаратный бокс и т.п. — разработаны с учетом опыта создания и эксплуатации подобных систем, прежде всего, инфразвукового компонента межгосударственной системы мониторинга ядерных испытаний. Основными достоинствами инфразвуковых станций, наряду с хорошими и стабильными метрологическими характеристиками, являются: сравнительно низкая стоимость, минимальные эксплуатационные затраты, надежность работы в широком диапазоне погодных условий, простота поверки и калибровки. Инфразвуковые станции КИЗ адаптированы к условиям эксплуатации на территории типовой метеостанции РФ.

См. также **21.05-01.82, 21.05-01.143**

Взаимодействие звука с поверхностью, учет покрытия и топографии, импеданс поверхностей на местности

21.05-01.154 Сравнение дисперсионной и бездисперсионной моделей наката длинных волн на берег. *Абдалазиз А., Диденкулова И.И., Дурых Д., Денисенко П. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2020, 56, № 5, с. 567-574. Рус.

Исследуется применимость дисперсионной и бездисперсионной модели для описания распространения и наката длинных волн на берег в случае составного рельефа дна: плоский откос переходит в зону постоянной глубины. Численные расчеты проводятся в рамках двух моделей: нелинейная теория мелкой воды и дисперсионная модель в приближении Буссинеска, основанная на модифицированных уравнениях Перегринна, и сравниваются с данными лабораторного эксперимента для различных типов волн: регулярные, бигармонические и "судовые" пакеты волн, сильно модулированные по частоте и амплитуде. На основе проведенного сравнения делаются выводы о применимости соответствующих теорий для описания данных типов волн.

Распространение и рассеяние на турбулентности и на неоднородных течениях

21.05-01.155 Численное моделирование восприимчивости сверхзвукового пограничного слоя к акустическим возмущениям в течениях сжатия и разрежения. *Егоров И.В., Пальчевская Н.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021, 497, № 1, с. 40-43. Рус.

Численно исследована восприимчивость пограничного слоя на плоской пластине к акустическим возмущениям в набегающем сверхзвуковом потоке газа. Рассмотрены углы атаки, при которых в поле течения формируются как ударные волны, так и веер волн разрежения. Изучены особенности взаимодействия этих структур с акустическими волнами и получены закономерности в формировании области неустойчивости пограничного слоя на пластине.

21.05-01.156 О механизме турбулентных течений со сдвигом. турбулентный пограничный слой. *Воротилин В.П. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2021, 160, № 4, с. 587-594. Рус.

На основе представлений о механизме турбулентных течений как формирующим источник турбулентных вихрей на границах турбулентного потока, разработанных и описанных ранее для турбулентных струй и турбулентных течений в каналах, проведен расчет параметров течения для турбулентного пограничного слоя, объединяющего особенности течений в струях и каналах. Дано описание механизма воздействия внешней турбулентности на параметры течения слоя. Предложено обобщение теории для течений с учетом градиента давления внешнего потока.

См. также **21.05-01.27, 21.05-01.151**

Аэро-термо-акустика и акустика горения

21.05-01.157 Диффузионное горение микроструи водорода в спутной струе воздуха. *Козлов В.В., Грек Г.Р., Литвиненко М.В., Литвиненко Ю.А., Тамбовцев А.С., Шамаков А.Г. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021, 496, № 1, с. 9-13. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований горения круглой микроструи водорода в спутной дозвуковой коаксиальной струе воздуха. Показано, что сценарий горения при дозвуковом истечении струи водорода связан с наличием "области перетяжки пламени" и нагрева сопла, но начальная сферическая форма области пламени трансформируется в цилиндрическую. Установлено, что горение круглой микроструи водорода в спутной коаксиальной струе воздуха на сверхзвуковой скорости истечения сопровождается наличием сверхзвуковых ячеек.

21.05-01.158 Диффузионное горение при взаимодействии сверхзвуковой круглой микроструи воздуха с коаксиальной (спутной) струей водорода. *Козлов В.В., Литвиненко М.В., Литвиненко Ю.А., Тамбовцев А.С., Шамаков А.Г. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021, 496, № 1, с. 14-18. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований особенностей диффузионного горения при взаимодействии круглой сверхзвуковой микроструи воздуха в центре и коаксиальной (спутной) струи водорода. Такое горение сопровождается целым рядом новых явлений: образованием конусообразной формы пламени близ среза сопла, запариванием области горения в этом конусе, наличием мелкомасштабных сверхзвуковых ячеек в результирующем потоке, образованием ламинарных участков и их турбулизации.

См. также **21.05-01.131**

Статистические характеристики полей и параметров распространения

См. **21.05-01.151**

Ударные и взрывные волны, звуковой удар

21.05-01.159 Переотражения упругого предвестника ударной волны в твердом теле. *Канель Г.И., Савиных А.С., Гаркушин Г.В., Разоренов С.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021, 496, № 1, с. 5-8. Рус.

На примере экспериментальных данных по отражению упру-

гопластической волны ударного сжатия от поверхности пластины из стали или алюминиевого сплава обсуждаются условия и закономерности формирования переотраженной упругой волны. Обнаружено, что возможность ее образования, а также ее амплитуда и затухание связаны с релаксационными свойствами материала в состоянии перед пластической ударной волной.

21.05-01.160 Аналитическое решение задачи о кавитационном обтекании клина. *И. Власов В.И., Скороходов С.Л. Журнал вычислительной математики и математической физики.* 2020. 60, № 12, с. 2098-2121. Рус.

Решение задачи о кавитационном обтекании клина идеальной жидкостью представлено в явном виде через специальные функции Гаусса и Аппеля для ряда классических схем замыкания каверны, дана его развернутая численная реализация и получены асимптотики коэффициента сопротивления C_x и размеров каверны при стремлении числа кавитации к нулю.

21.05-01.161 Эволюция процесса самоорганизации при сварке взрывом: микроструктуры и поверхности раздела. *Гришберг Б.А., Иванов М.А., Пушкин М.С., Иноземцев А.В., Пацелов А.М. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2021. 18, № 1, с. 88-101. Рус.

Исследуемые процессы, протекающие внутри сварного шва, подчиняются принципу самоорганизации открытых систем, который предполагает, что система выбирает такие диссипативные каналы, которые быстрее всего «тратят» подводимую внешнюю энергию. Самоорганизация системы осуществляется посредством многообразия механизмов: образование выступов, всплесков, вихрей, зон локального расплавления, квазиволновой поверхности, прерывистой поверхности. Для разных исследуемых соединений эти механизмы являются похожими, но не тождественными. Показано, что многочисленные вихри, наблюдаемые для соединения титан—алюминид титана, являются редкими и случайными для соединения медь—титан. Общим для исследованных соединений титан—алюминид титана является процесс разупорядочения, наблюдаемый при приближении к контактной поверхности. Речь идет об образовании разупорядоченных фаз с ОЦК и ГПУ решетками. Разупорядоченные фазы по сравнению с другими ($O+a_2$) фазами, входящими в состав алюминида, обладают большей пластичностью и вязкостью. Процесс разупорядочения является одним из процессов, которые обеспечивают самоорганизацию при сварке взрывом. Процесс самоорганизации при сварке алюминий—тантал является альтернативным упоминаемому выше процессу разупорядочения. Речь идет об образовании интерметаллической фазы Al_3Ta . Алюминий — один из немногих металлов, склеивание которого невозможно без предварительной химической обработки поверхности. Тем не менее, сварное соединение алюминия с танталом было получено, благодаря замечательной особенности сварки взрывом: самоочищению свариваемых поверхностей вследствие кумулятивного эффекта.

21.05-01.162 Звуковой удар от тонкого тела и локальных областей нагрева сверхзвукового набегающего потока. *Потапкин А.В., Москвичев Д.Ю. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 4, с. 558-566. Рус.

Численно решалась задача о звуковом ударе от тонкого тела и локальных областей нагрева сверхзвукового набегающего потока. Число Маха набегающего потока воздуха равно 2. Расчеты выполнены с помощью комбинированного метода "тел-фантомов". Результаты расчетов показали, что локальный разогрев набегающего потока может обеспечить снижение уровня звукового удара. Уровень звукового удара зависит от количества локальных областей нагрева набегающего потока. При одной области нагрева потока можно получить снижение уровня звукового удара на 20%, по сравнению с уровнем звукового удара от тела в холодном потоке. А последовательный нагрев набегающего потока в двух областях нагрева обеспечивает уменьшение уровня звукового удара более чем на 30%. Ключевые слова: сверхзвуковой полет, ударные волны, звуковой удар, тонкое тело, нагрев потока, метод "тел-фантомов".

Звук в трубах с потоками

21.05-01.163 Пульсирующее течение вязкой жидкости над каверной, содержащей сжимаемый газовый пузырек. *Азеев А.И., Осипцов А.Н. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 38-50. Рус.

Исследуется задача о двумерном пульсирующем течении вязкой жидкости в плоском канале над прямоугольной микрокаверной, частично или полностью заполненной сжимаемым газом. Такая постановка может моделировать механизм снижения трения при течении вязкой жидкости в ламинарном подслое турбулентного потока над текстурированной полосчатой супергидрофобной поверхностью, содержащей периодически расположенные прямоугольные микрокаверны, заполненные газом. Предполагается, что размер каверн гораздо меньше толщины канала. На макромасштабе решается задача об одномерном нестационарном течении вязкой жидкости в плоском канале с условиями прилипания на стенках при гармоническом изменении перепада давления. Полученное таким образом решение используется для формулировки нестационарных по времени и периодических по пространству граничных условий для течения на масштабе выбранной каверны (микромасштабе), при этом мгновенный объем газового пузырька в каверне зависит от мгновенного значения давления над пузырьком. Течение на микромасштабе над каверной с газовым пузырьком предполагается стоковым. Численное решение строится с использованием оригинального варианта метода граничных интегральных уравнений. Проведено параметрическое численное исследование поля течения в пульсирующем сдвиговом течении над каверной со сжимаемым газовым пузырьком. Изучены осредненные характеристики эффективного "проскальзывания" жидкости над каверной и снижения трения в пульсирующем течении над полосчатой супергидрофобной стенкой.

21.05-01.164 Аналитическая модель турбулентной вязкости для профилей скорости во внешней части закрытых и открытых течений в канале. *Абси Р. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2021, № 6, с. 145-156. Рус.

Основные уравнения, используемые для аналитического описания турбулентности в случае течений в открытых каналах, имеют параболический профиль турбулентной вязкости и экспоненциально убывающую зависимость турбулентной кинетической энергии. Однако, если использовать при определении турбулентной (вихревой) вязкости произведение масштабов скорости и длины и брать для масштаба скорости квадратный корень из турбулентной кинетической энергии, то, как можно показать, параболический профиль турбулентной вязкости несовместим с зависимостью для турбулентной кинетической энергии. Учитывая этот недостаток, рассмотрена такая зависимость для нахождения турбулентной вязкости, которая согласуется с профилем турбулентной кинетической энергии в равновесной области. Эта турбулентная вязкость записана в форме, допускающей калибровку по двум параметрам, зависящим от числа Рейнольдса по динамической скорости Re_γ , которые линейно зависят от Re_γ . Все результаты обоснованы как посредством прямого численного моделирования (ПЧМ), так и с помощью данных экспериментов в одном и том же диапазоне чисел Рейнольдса по динамической скорости, соответственно, $300 < Re_\gamma < 5200$ для течений в закрытых каналах и $923 < Re_\gamma < 6139$ для течений в открытых каналах. Сравнение с данными прямого численного моделирования (ПЧМ) турбулентной вязкости, проведенного для течений в закрытых каналах в случае восьми различных условий в потоке, продемонстрировало хорошее согласие. Средние скорости вдоль по потоку были получены из решения уравнения количества движения. Для течений в закрытых каналах профили средней скорости также показали очень хорошее согласие. Для течений в открытых каналах полученные результаты подтверждают, что использование турбулентной вязкости с параболическим профилем не может улучшить профили скорости, тогда как предлагаемый метод демонстрирует хорошее согласие. Эти результаты показывают возможность использования аналитической модели турбулентной вязкости для точного описания распределения скоростей во внешней области течений, как для закрытых, так и открытых потоков, без использования каких-либо специально подбираемых параметров или функций.

См. также **21.05-01.29, 21.05-01.123**

Аппаратура и методы для измерения атмосферных параметров, ветра, турбулентности, температуры, загрязняющих выбросов

См. 21.05-01.15

Авиационная акустика

21.05-01.165 Самоиндуцированные процессы вязко-невязкого взаимодействия в ламинарном пограничном слое над пористой поверхностью. *Липатов И.И.* Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 496, № 1, с. 24-26. Рус.

Исследовано локальное течение в пограничном слое в окрестности пористого элемента поверхности. На основе асимптотического анализа сформулированы математические модели процессов взаимодействия и определены параметры подобия. Представлены численные и аналитические результаты, описывающие взаимодействие ламинарных течений около пористых поверхностей с внешним потоком в условиях, когда давление под пористой поверхностью превосходит возмущенное давление в течении над поверхностью. Исследованы режимы падения давления под влиянием донного перепада давлений.

21.05-01.166 Вынужденные колебания псевдоскачка в трансзвуковом течении газа в диффузоре. *Липатов И.И., Ляпидевский В.Ю., Чесноков А.А.* Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2021, № 6, с. 98-108. Рус.

Математическая модель движения баротропного газа, основанная на двухслойном представлении течения с областями сверхзвукового ядра и пристеночного пограничного слоя, применена для описания ударно-волновых структур в каналах и соплах переменного сечения. Нестационарная модель псевдоскачка записывается в виде системы пяти неоднородных законов сохранения. Определены скорости распространения возмущений и сформулированы достаточные условия гиперболичности уравнений движения. Проведено численное моделирование формирования квазистационарных ударных волн и осцилляций фронта псевдоскачка при периодическом вдуве или изменении выходного сечения канала. Модель верифицирована сравнением с известными экспериментальными данными вынужденных колебаний псевдоскачка в трансзвуковом канале.

См. также 21.05-01.123

Колебания тел и структур в потоке, аэроупругость

21.05-01.167 Экспериментальное исследование влияния нано- и микрошероховатостей на интенсивность закрученного потока. *Наумов И.В., Окулова Н.В., Шарифуллин Б.Р., Ломакина В.А., Окулов В.Л.* Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 497, № 1, с. 65-68. Рус.

Исследуется влияние наношероховатостей на структуру замкнутого вихревого потока, генерируемого в неподвижном вертикальном цилиндрическом контейнере верхним вращающимся диском с нанесением различных шероховатостей на его поверхность. Установлено, что при увеличении числа Рейнольдса наличие шероховатостей на вращающемся диске приводит к увеличению протяженности вдоль оси вихревой ячейки с циркуляционным движением, приводя к интенсификации перемешивания и массопереноса. Впервые показано, что для случая взаимодействия Венцеля жидкости с поверхностью (без "воздушной" прослойки между жидкостью и поверхностью) для наношероховатостей, моделирующих супергидрофобную поверхность листа лотоса, наблюдается 5–11% увеличение размера вихревой ячейки. Полученные результаты представляют инте-

рес для дальнейшего развития вихревых аппаратов и реакторов, обеспечивающих сложное вихревое движение ингредиентов, оптимизации работы действующих установок и для проектирования новых устройств.

21.05-01.168 Алгоритм расщепления в методе конечных объемов для численного решения уравнений Навье—Стокса вязкой несжимаемой жидкости. The splitting algorithm in finite volume method for numerical solving of Navier—Stokes equations of viscous incompressible fluids. *Kovenya V.M., Tarraf D.* Журнал Сибирского Федерального университета. Математика и физика. 2021. 14, № 4, с. 519-527. Англ.

Для численного решения уравнений Навье—Стокса, записанных в интегральной форме, предложен неявный конечно-объемный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее разностных схем. Использование интегральной формы уравнений позволило обеспечить его консервативность, а технологии расщепления — экономичность алгоритма. Проведена численная апробация алгоритма на точном решении, в задачах о течении жидкости в каверне с движущейся крышкой и течении с подогревом стенок канала, подтвердившая достаточную точность алгоритма и его эффективность. Работа представлена в выпуск памяти профессора Ю.Я. Белова.

21.05-01.169 Конкуренция режимов колебаний плохо обтекаемого тела в воздушном потоке. *Рябинин А.Н., Шмигирилов Р.В.* Журнал технической физики. 2021. 91, № 5, с. 758-763. Рус.

На основе известных математических моделей, описывающих колебания в потоке газа плохо обтекаемого тела с одной степенью свободы, предложена модель колебаний тела с двумя степенями свободы. Составлены уравнения поперечных поступательных колебаний и вращательных колебаний упруго закрепленного тела вокруг оси, перпендикулярной вектору скорости набегающего потока. Методом Крылова—Боголюбова в первом приближении уравнения сводятся к уравнениям для медленно меняющихся амплитуд и частот колебаний. Оказалось, что дифференциальные уравнения, выписанные для квадратов безразмерных амплитуд поступательных и вращательных колебаний, совпадают с известными уравнениями Лотки—Вольтерры, описывающими конкуренцию между двумя видами животных, питающихся одинаковой пищей. Коэффициенты уравнений зависят от скорости набегающего потока. Модель верифицирована на примере колебаний макета сегмента моста в аэродинамической трубе. Ключевые слова: поступательные и вращательные колебания, воздушный поток, плохо обтекаемое тело.

21.05-01.170 Сверхзвуковое ламинарное обтекание затупленного ребра: двойственность численного решения. *Колесник Е.В., Смирнов Е.М.* Журнал технической физики. 2021. 91, № 5, с. 764-771. Рус.

Представлены результаты численного решения задачи сверхзвукового обтекания затупленного ребра, установленного на пластине, вдоль которой развивается пограничный слой. Постановка задачи основана на расчетно-экспериментальной работе Tutty с соавторами (2013), в которой рассмотрен ламинарный режим обтекания при числе Маха внешнего потока равно 6.7. Рассмотрено течение в диапазоне чисел Рейнольдса от $5.0 \cdot 10^3$ до $2.0 \cdot 10^4$. Установлено, что в некотором интервале значений числа Рейнольдса существуют два устойчивых решения задачи, которые отвечают метастабильным состояниям потока с различной конфигурацией вихревой структуры. Построены бифуркационные диаграммы, показывающие положение центра основного подковообразного вихря и длину отрывной области в зависимости от числа Рейнольдса, и оценено критическое значение числа Рейнольдса, при превышении которого возникает второе решение. Ключевые слова: высокоскоростные течения, вязко-невязкое взаимодействие, подковообразные вихри, численное моделирование, двойственность решения.

См. также 21.05-01.13, 21.05-01.14, 21.05-01.76, 21.05-01.103, 21.05-01.132, 21.05-01.163

Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика

Лабораторные исследования линейных и нелинейных свойств скальных пород, грунтов, глин, сыпучих сред и моделей геологических структур

См. 21.05-01.84

Акустические волны в многофазных средах

21.05-01.171 Термомеханические волны в системе упругая литосфера—вязкая астеносфера. *Лобковский Л.И., Рамазанов М.М. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2021, № 6, с. 4-18. Рус.*

Рассмотрена задача о возникновении термомеханических волн в системе, состоящей из двух горизонтальных слоев с реологичными линейно упругой среды для верхнего слоя (литосфера) и вязкой жидкости для нижнего (астеносфера) с учетом фазового перехода на их общей границе. Найдено точное решение задачи и изучены его свойства в зависимости от параметров. Показано, что при характерных значениях физических параметров литосферы и астеносферы существуют решения в виде умеренно затухающих деформационных тектонических волн, дана геофизическая интерпретация полученных результатов.

См. также 21.05-01.66

Сейсмическое зондирование геологических структур

21.05-01.172 Сейсмические исследования ядра Земли. *Овчинников В.М., Краснощекоев Д.Н. Физика Земли. 2021, № 2, с. 3-26. Рус.*

21.05-01.173 Механическая добротность в верхней части внутреннего ядра Земли по данным коды волн *PKiKP*. *Краснощекоев Д.Н., Овчинников В.М., Усольцева О.А. Физика Земли. 2021, № 5, с. 17-29. Рус.*

На основе анализа методом компьютерной графики альфа-шейп огибающей коды отраженных от поверхности внутреннего ядра Земли волн *PKiKP*, возбужденных ядерными взрывами, получены оценки величины механической добротности для девяти областей отражения под Арктикой, Центральной и Юго-Восточной Азией со средним значением $Q=447\pm 43$. Механизм формирования коды может быть обусловлен неоднородностями в верхней части внутреннего ядра с характерным линейным размером 1–4 км и вариациями скорости продольных волн порядка 1–3%.

21.05-01.174 Моделирование индуцированной сейсмичности на основе двухпараметрического закона *rate-and-state*. *Рига В.Ю., Турунтаев С.Б. Физика Земли. 2021, № 5, с. 55-73. Рус.*

Рассматривается вопрос численного моделирования сейсмичности, индуцированной закачкой флюида в недра. Одним из важных факторов, определяющих динамику скольжения тектонических разломов в процессе воздействия, является вид закона трения, действующего на берегах разломов. Путем численного анализа, проведенного в рамках слайдер-модели в сопоставлении с результатами лабораторных экспериментов, показано, что двухпараметрическая форма закона трения типа *rate-and-state* позволяет описывать наиболее широкий спектр наблюдаемых режимов скольжения. На основе модели двойной пористости, а также слайдер-модели трещин моделируется индуцированная сейсмичность в районе г. Базель, Швейцария, возникшая в ходе реализации проекта по использованию геотермальной энергии. Представлена физически полная модель вложенных трещин, позволяющая моделировать процесс фильтрации флюида в породе, содержащей трещины или разломы, с учетом изменения фильтрационных свойств последних. Процесс деформации разлома описывается с использованием метода разрывных смещений. Модель применяется для анализа результатов натурного эксперимента по закачке воды в разлом на юге Франции. Исследуется развитие подвижек разлома в зависимости от различных параметров: свойств разлома, фильтра-

ционных свойств породы, параметров закачки. Найдены условия, при которых в рамках предложенной модели возможно возникновение сейсмических подвижек.

Исследование геологических сред с использованием сейсмического шума

21.05-01.175 Иницирование обрушения склона сейсмическими колебаниями от разных источников. *Кочарян Г.Г., Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В., Шарафиев З.З., Каменев П.А. Физика Земли. 2021, № 5, с. 41-54. Рус.*

Приведены результаты лабораторных исследований критериев обрушения склонов под воздействием импульсных динамических нагрузок в диапазоне максимальных скоростей смещения грунта (*PGV*) от 0.003 до 1.3 м/с и ускорений (*PGA*) — от 0.01 до более чем 170*g*. Установлены критические значения параметров динамических воздействий на модельные склоны. Значение минимального пикового ускорения, при котором наблюдалось образование оползня, значительно превышает величину критического ускорения, рассчитанную на основе квазистатического подхода. В то же время, при близких коэффициентах статической устойчивости, критические параметры для подводных и надводных склонов сопоставимы, несмотря на то, что характер движения грунта после иницирования в опытах под водой сильно отличается от наземных склонов. Показано, что существуют минимальные величины *PGA* и *PGV*, при которых наблюдаются необратимые деформации склона. Если ускорение ниже минимального значения PGA_{min} , то значимых необратимых деформаций не наблюдается при любых значениях *PGV*. Если величина массовой скорости ниже PGV_{min} , то при $PGA > PGA_{min}$ наблюдаются необратимые деформации, так что при повторном воздействии склон может быть разрушен. С использованием приближения Ньюмарка выполнены расчеты устойчивости склонов при различных видах воздействия — землетрясениях разных магнитуд, массовых карьерных взрывах, подземных взрывах большой мощности.

21.05-01.176 Эффекты ударной волны, генерируемой на поверхности Земли при падении космических тел размером от 20 м до 3 км. *Глазачев Д.О., Попова О.П., Подобная Е.Д., Артемьева Н.А., Шувалов В.В., Светцов В.В. Физика Земли. 2021, № 5, с. 133-145. Рус.*

Разрушения на поверхности Земли, вызываемые ударной волной, являются одним из наиболее важных и опасных последствий падений астероидов и комет. Избыточное давление и скорость ветра за фронтом ударной волны, приводящие к тем или иным опасным последствиям, могут быть оценены на основе специально разработанных моделей взаимодействия космических объектов с атмосферой и поверхностью Земли. Ударная волна является также причиной сейсмических эффектов, но в данной работе рассматривается только прямое действие ударной волны. Систематическое численное моделирование взаимодействия космических объектов с атмосферой было ранее проведено для большого количества различных сценариев в рамках гидродинамической модели. Анализ результатов этого моделирования позволяет предложить аппроксимационные соотношения, которые дают возможность оценить избыточное давление, скорость ветра за ударной волной и их распределение на поверхности, если известны параметры импактора, его скорость и угол наклона траектории. Эти соотношения учитывают пространственную неоднородность распределения избыточного давления на поверхности Земли. Полученные соотношения подобия были протестированы на данных Челябинского и Тунгусского событий, и было показано хорошее соответствие с данными разрушений. Полученные аппроксимационные соотношения используются в интернет-калькуляторе (<http://www.AsteroidHazard.pro>), позволяющем быстро и достаточно точно оценивать различные эффекты падений.

21.05-01.177 Численное моделирование формы ударных кратеров с учетом аномального динамического разупрочнения. *Иванов Б.А. Физика Земли. 2021, № 5, с. 146-154. Рус.*

Моделирование движения крупных блоков земной коры относительно друг друга во многом зависит от правильного описания сил, действующих между этими блоками. Для описания движения при высоких скоростях деформации оказалось необходимым предположить, что сила сухого трения зависит от скорости сдвига и, во многих случаях, от амплитуды сдвига бортов разлома. Наиболее известные примеры крупномасштабных движений с динамически уменьшающимся трением дают дальнеполюсные лавины и коллапсирующие в поле тяжести переходные полости крупных ударных кратеров. В работе обсуждается опыт использования модели акустической флюидизации как причины временного снижения сухого трения для количественного воспроизведения формы ударных кратеров на Земле и других планетах. Намечены ближайшие перспективы поиска более адекватных моделей.

21.05-01.178 Оценки воздействия на Землю ударов аperiодических комет. *Светцов В.В., Шувалов В.В.* *Физика Земли.* 2021, № 5, с. 210-222. Рус.

Удары комет по Земле, как и сами кометы, особенно аperiодические, по сравнению с астероидами изучены гораздо меньше. Но, несмотря на редкость таких ударов, они происходили в прошлом и нельзя исключить их в ближайшем будущем. Причем возможны удары межзвездных и, в принципе, даже межгалактических объектов с гиперболическими орбитами. Одна такая комета 21/Борисов была открыта совсем недавно. Для оценки воздействия таких объектов на Землю мы провели численное моделирование ударов кометных ядер диаметром 1 и 3 км по твердой Земле со скоростями 70 и 170 км/с под углом 45° к поверхности. Моделирование проводилось с помощью гидродинамической компьютерной программы с учетом термодинамических свойств пылевого ядра и оболочки кометы и земной коры в твердом и расплавленном состоянии. Определялись потоки теплового излучения на поверхности Земли на основе приближенного решения уравнения переноса излучения с учетом оптических свойства паров и воздуха. Оценены размеры зоны поражения воздушной ударной волной, массы выброшенного вещества в атмосферу и ее загрязнение, магнитуды землетрясений, размеры областей потенциального возникновения пожаров. Наиболее опасное прямое воздействие связано с возможностью возникновения пожаров в области, которая намного превышает как размер ударного кратера, так и область низкоскоростных выбросов из кратера, составляя в диаметре от 3000 км при минимальной из рассмотренных энергий удара до 14 000 км при ударе с максимальной энергией. Долговременные последствия ударов связаны с загрязнением атмосферы мелкодисперсными выбросами, химическими компонентами, затемнением атмосферы.

Обратные задачи сейсмоакустики

21.05-01.179 Акустические эффекты сильных землетрясений. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С.* *Физика Земли.* 2021, № 1, с. 41-50. Рус.

Приведены результаты инструментальных наблюдений за акустическими эффектами ряда сильных землетрясений, произошедших в Албании, Греции, Иране и Турции с магнитудой в интервале 5.1—6.9. Наблюдения выполнены в трех пунктах: Геофизической обсерватории “Михнево” (54.94°N; 37.73°E), в Центре геофизического мониторинга г. Москвы (55.70°N; 37.57°E) Института динамики геосфер Российской академии наук и в пункте, расположенном в г.Звенигород Московской области (55.69°N; 36.77°E), что обеспечивало пеленги на источники акустических возмущений. Показано, что землетрясения с очагами, расположенными на расстояниях от ~1845 до ~2815 км от пунктов регистрации, вызывают возмущения атмосферы в виде распространяющихся в стратосферном волноводе акустических колебаний инфразвукового диапазона частот, а также в виде акустических колебаний, вызванных сейсмическими волнами. Приведены характерные периоды вызванных землетрясениями акустических сигналов. Выполнена оценка энергий акустического источника и землетрясения по спектральным характеристикам распространяющихся в стратосферном волноводе инфразвуковых сигналов.

21.05-01.180 Спектр отношения H/V сейсмического

шума можно обращать совместно с приемными функциями. *Алешин И.М., Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Преснов Д.А.* *Физика Земли.* 2021, № 4, с. 133-141. Рус.

Обоснована возможность совместной инверсии волновых форм приемных функций и спектра отношения горизонтальной и вертикальной компонент (H/V) сейсмического шума для изучения строения Земли. Оба типа данных широко применяются для построения скоростной модели среды под одиночной сейсмостанцией. Главное отличие методов связано с разницей в частотном составе входных данных: 0.02—0.2 Гц для приемных функций и 0.5—20 Гц для шума. В работе показано, что, несмотря на эти различия, такая постановка задачи позволяет повысить эффективность восстановления модели среды, если под станцией имеется осадочный чехол со сложной структурой. С практической точки зрения для описания параметров обоих сейсмических методов используется представление среды плоскими слоями. Кроме того, оба метода наиболее чувствительны к распределению скорости поперечных волн по глубине. На примере записей сейсмостанции Монаково (Нижегородская обл., Россия) построена модель среды, не противоречащая данным обоих типов. Показано, что учет спектральной кривой H/V при интерпретации приемной функции вводит дополнительные ограничения на тонкую структуру верхней части скоростного разреза, тем самым стабилизируя процедуру его восстановления.

21.05-01.181 Проявление сейсмозффектов в ионосфере в дальней зоне от очага землетрясения. *Белашов В.Ю., Белашова Е.С., Харшмадзе О.А.* *Геомагнетизм и аэрономия.* 2021. 61, № 1, с. 3-7. Рус.

На основе результатов теоретических исследований проявления сейсмической активности показано, что в результате воздействия на атмосферу и нейтральную компоненту ионосферы акустического импульса, вызванного поверхностной волной Рэ-лея, как в наземных экспериментах, так и в спутниковых наблюдениях на высотах F -области ионосферы могут регистрироваться возмущения вертикальной скорости нейтральной компоненты и электронной концентрации, что приводит к последующему формированию и эволюции в дальней зоне уединенной внутренней гравитационной волны (ВГВ) и возбуждению этой волной перемещающегося ионосферного возмущения (ПИВ) с соответствующими им характерными пространственными масштабами, распространяющихся радиально от эпицентра под углами, близкими к горизонтали, со скоростями $\sim 200 \text{ мс}^{-1}$. Рассмотрение 3-мерного случая с учетом всех значимых факторов (слабых нелинейности и дисперсии, диссипации и стохастических флуктуаций волнового поля) позволило уточнить полученные ранее другими авторами результаты и показало, что в дальней зоне от эпицентра землетрясения форма ионосферного отклика на сейсмическое событие существенно зависит от значений основных параметров ионосферы, определяющих ее дисперсионные характеристики, флуктуационные и диссипативные процессы в области распространения ВГВ и возбуждаемого ей ПИВ: это может быть и уединенное волновое возмущение, и волновой пакет с характерными масштабами ВГВ. При этом установлено, что имеют место как фазовый сдвиг ПИВ относительно фазы ВГВ (в пределах 0.5—5 мин), так и эффект релаксации в восстановлении электронной концентрации после прохождения солитона ВГВ. Полученные результаты анализа сейсмоионосферных пост-эффектов, выражающихся в формировании в дальней зоне солитоноподобных возмущений ВГВ и ПИВ и представляющих большой интерес, в частности, для лучшего понимания причинно-следственных связей в системе твердая земля—атмосфера—ионосфера, может использоваться для пеленгации эпицентров землетрясений и выделения сейсмообусловленных колебаний в спектре ионосферных флуктуаций.

21.05-01.182 Геомагнитные эффекты удаленных землетрясений. *Гаврилов Б.Г., Поклад Ю.В., Рыбнов Ю.С., Ряжовский И.А., Санина И.А.* *Геомагнетизм и аэрономия.* 2021. 61, № 1, с. 115-123. Рус.

Представлены результаты исследования взаимосвязи сейсмических событий с геомагнитными возмущениями, возникающими в результате акустического воздействия на нижнюю ионосферу, вызванного колебаниями земной поверхности на расстояниях в несколько тысяч км от очага землетрясения. Измере-

ния выполнены на базе obs. Михнево, оборудованной приборным комплексом, включающим сейсмические, акустические, электромагнитные и ионосферные средства наблюдений и оборудованной системой временной привязки с использованием приемников системы GPS, что обеспечивает точность синхронизации данных измерений не хуже 20 нс. На примере пяти сейсмических событий показаны закономерности формирования атмосферных и геомагнитных эффектов удаленных землетрясений и зависимость времени их появления от расстояния до сейсмического источника. Продемонстрировано различие в характере и времени возникновения геомагнитных пульсаций, связанных с воздействием на ионосферу акустических волн, от сигналов, обусловленных сейсмомагнитным эффектом.

См. также **21.05-01.173**

Акустика землетрясений, вулканических извержений, иных катастрофических природных явлений

21.05-01.183 Максимальные землетрясения в будущих интервалах времени. *Писаренко В.Ф., Любушин А.А., Родкин М.В.* *Физика Земли.* 2021, № 2, с. 27-45. Рус.

Исследуются проблемы, связанные с максимальными землетрясениями в сейсмоактивном регионе. В работах авторов (Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Неустойчивость параметра M_{\max} и альтернатива его применению // *Физика Земли.* 2009. № 12. С. 48–59; Pisarenko V., Rodkin M. Heavy-Tailed Distributions in Disaster Analysis. *Advances in Natural and Technological Hazards Research.* Springer, Dordrecht—Heidelberg—London—New York. 2010. V. 30; Pisarenko V.F., Rodkin M.V. The maximum earthquake in future T years: Checking by a real catalog // *Chaos, Solitons & Fractals.* 2015. V. 74. P. 89–98) была предложена альтернатива неоднозначно определяемому параметру M_{\max} (максимальной региональной магнитуде) в виде четко определенного, статистически обоснованного параметра — максимальной магнитуды землетрясения в данном регионе в заданный, будущий интервал времени T . Изучаются статистические характеристики этого параметра — квантили с заданным уровнем доверия q . Впервые оценка смещения, стандартного отклонения и среднеквадратичного отклонения таких квантилей проведена на большом количестве (1000 штук) независимых выборок (искусственных каталогов) с известным законом распределения. Это дало возможность сравнить получаемую при этом “истинную” точность оценок с той, которая получается по одному каталогу с неизвестным законом распределения. Оценена реальная эффективность оценок квантилей на примерах с точно известным ответом, а также продемонстрирована устойчивость и робастность этих квантилей как информативной и важной характеристики сейсмического риска. Проведенные сравнения позволяют получить оценки разброса квантилей в области больших времен T и при весьма строгих границах доверительного уровня q . Оценки квантилей максимальных событий в будущем интервале времени получаются существенно более робастными при более сильном загибе вниз графика повторяемости. Выведено соотношение между квантилями одиночного землетрясения и квантилями максимального землетрясения в будущем интервале времени T , которое позволяет устанавливать эквивалентность между длительностью интервала T и уровнем значимости (надежностью) q , что для распределений с тяжелыми хвостами необходимо учитывать при оценивании сейсмического риска. При статистическом анализе использованы два различных метода оценки параметров: метод максимального правдоподобия и Байесовский метод. Они показали примерно равную эффективность. С помощью этих методов получен вывод о том, что оценка долгосрочной сейсмической опасности для регионов с явно выраженным загибом вниз графика повторяемости является весьма устойчивой и робастной.

См. также **21.05-01.146, 21.05-01.179, 21.05-01.181**

Акустика Земли и планет

21.05-01.184 О геосейсмических шумах и гелиосейсмических колебаниях. *Гульельми А.В., Зотов О.Д.* *Физика Земли.* 2021, № 4, с. 142-147. Рус.

Г.А. Соболев и его коллеги опубликовали в журнале “Физика Земли” статью (Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Мигунов И.Н., Соболев Д.Г., Бойко А.Н. Влияние магнитных бурь на низкочастотный сейсмический шум // *Физика Земли.* 2020. № 3. С. 3–28), в которой обсуждались полученные авторами результаты. Во-первых, обращено внимание на то, что важнейшим элементом магнитной бури, влияющей на сейсмическую активность, являются геомагнитные пульсации $Pc5$. В рамках магнитной гидродинамики $Pc5$ интерпретируются как стоячие волны Альвена. Возможно, что именно волны Альвена индуцируют колебания, зарегистрированные авторами указанной статьи. Во-вторых, изложена гипотеза о том, что в спектр $Pc5$ вносят вклад 5-минутные колебания Солнца, известные из гелиосейсмологии. Таким образом, по-видимому, намечается еще один канал воздействия Солнца на Землю, в частности на ее сейсмичность. Специальное внимание уделено вопросу об инструментальной помехе.

21.05-01.185 О вариациях параметров плазмы ионосферы, наблюдаемых посредством ионозонда и на магнитной станции в диапазоне периодов планетарных волн. *Рябова С.А., Шалимов С.Л.* *Физика Земли.* 2021, № 6, с. 122-130. Рус.

Рассмотрены вариации геомагнитного поля и критической частоты $F2$ -слоя в диапазоне периодов планетарных волн в зимний период. Измерения осуществлялись посредством магнитометра и вертикального радиозондирования ионозондом на близких станциях (ст. Бельск и ст. Варшава) и позволяли регистрировать вариации ионосферного тока в нижней и плотности плазмы в верхней ионосфере соответственно. Спектральное оценивание выполнено для зимнего периода 2018–2019 гг. (низкая солнечная активность) и 2014–2015 гг. (высокая солнечная активность). Обнаружено присутствие практически синхронных вариаций в указанном диапазоне периодов как на наземной магнитометрической станции, так и в измерениях критической частоты слоя $F2$. При этом в спектрах временных вариаций геомагнитного поля и критической частоты $F2$ -слоя в диапазоне планетарных волн в зимний период присутствуют как гармоники, связанные с солнечной активностью, так и гармоники, соответствующие квази-16-дневной и квази-10-дневной планетарным волнам. Предложен механизм появления 16- и 10-дневных вариаций в верхней ионосфере.

21.05-01.186 О связи землетрясений с геомагнитными бурями. *Гульельми А.В., Клайн Б.И., Курасковская Н.А.* *Физика Земли.* 2021, № 6, с. 131-136. Рус.

В ответ на любезное приглашение Редколлегии журнала “Физика Земли” принять участие в дискуссии по методике статистического изучения корреляционных отношений между геофизическими процессами мы произвели небольшое исследование и написали представленную здесь статью. Будучи по преимуществу геомагнитологами, мы сосредоточили внимание на актуальном вопросе о корреляции землетрясений с геомагнитными бурями. Затронут также вопрос о связи землетрясений с сейсмическими шумами. Основной результат нашего анализа состоит в следующем. Корреляция между землетрясениями и магнитными бурями существует объективно. Проблема вполне заслуживает дальнейшего изучения с использованием методов статистической проверки гипотез, причем особое внимание следует уделять четкому разграничению каузальных и акаузальных корреляций.

См. также **21.05-01.172, 21.05-01.183**

Акустическая экология; Шумы и вибрации

Воздействие шумов и вибраций на сооружение и технику

21.05-01.187 Метод оптимизации демпфирования на основе анализа рабочих режимов для подавления низкочастотных шумов оборудования. *Yunkai Gao, Zhaotong Yang, Shihui Wang. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 1, с. 97-102. Рус.

С целью снижения низкочастотного шума крупногабаритного оборудования предложен метод оптимизации демпфирования, основанный на анализе рабочих мод (Operational Mode Analysis) — ОМА. Благодаря стабильности частот и конфигураций мод применение демпфирования может обеспечить эффективное шумоподавление, не вызывая новых проблем по сравнению со структурной оптимизацией, что делает этот метод одним из наиболее результативных для готовых конструкций. На примере моторного отсека экскаватора, выбранного в качестве объекта исследования, предложен метод оптимизации демпфирования на основе теста ОМА, который позволяет повысить эффективность шумоподавления для крупногабаритного оборудования. Результаты моделирования и реальных испытаний показывают, что на основе метода применения демпфирования с помощью ОМА уровень низкочастотной звуковой мощности значительно снижается, приближаясь к требованиям национальных стандартов.

Структурная акустика и вибрации

21.05-01.188 Аномальное прохождение волн через тонкий канал, соединяющий два акустических волновода. *Назаров С.А., Шенель Л. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 496, № 1, с. 31-36. Рус.

Найден критерий почти полного прохождения поршневой моды из одного трехмерного цилиндрического волновода в другой полубесконечный волновод через тонкий соединительный канал. Изложена асимптотическая процедура точной настройки параметра канала, нарушение которой приводит к почти полному или существенному отражению волны. В том случае, когда детали волновода — прямые цилиндры, критерий принимает особенно простой вид.

21.05-01.189 Исследование механизма взаимосвязи боковых колебаний высокоскоростного поезда на основе сингулярных коэффициентов. *Qiang Zhao, Mingwei Piao. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 3, с. 54-61. Рус.

Механизм связанных боковых колебаний является основным законом колебательной неустойчивости высокоскоростного поезда. Основная причина нестабильности — конструктивные недостатки прототипа применяемой колесной тележки стандарта ICE3. Вследствие этого данное оборудование пассажирских поездов не создает необходимых и достаточных условий для обеспечения устойчивости и безопасности при работе в режиме высокоскоростной железной дороги. Основываясь на предыдущих исследованиях, данная работа развивает теоретическую демонстрацию и экспериментальную проверку механизма боковых колебаний высокоскоростного поезда. В соответствии с концепцией жесткости системы и статистических характеристик гауссовского процесса предлагается новая концепция сингулярного коэффициента для описания нестационарных и негауссовских процессов. В сочетании с результатами ходовых испытаний добротности колебаний высокоскоростного транспортного средства выводы хорошо согласуются с результатами экспериментов и динамического моделирования. Применение сингулярного коэффициента позволяет выделить три характеристических параметра для определения механизма связи поперечных колебаний высокоскоростного поезда, а именно: достаточную энергию возбуждения, среду передачи колебаний и возможность резонанса связи. Углубленный анализ междомодовых связей высокого порядка и остаточной силы циклически деформируемого тела приводит к новой концепции сингулярного коэффициента. Моделирование жестко-гибкой связи отражает основные статистические характеристики нестационарных

и негауссовских процессов, а также выявляет механизм связи поперечных колебаний высокоскоростного поезда.

21.05-01.190 Экспериментальное определение коэффициента сопротивления конических проникателей и проникателя с плоским передним торцом при сверхзвуковом движении в песчаном грунте. *Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Травов Ю.Ф., Иоилев А.Г., Писецкий В.В., Капинос С.А., Калмыков А.П., Лапичев Н.В. Журнал технической физики.* 2021. 91, № 3, с. 542-548. Рус.

Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента сопротивления при проникании в песчаный грунт конических и цилиндрических ударников. В экспериментах угол полураствора конического наконечника проникателя (ударника) изменялся от 10 до 90 deg. Скорость движения ударника изменялась в интервале 0,2–2,0 km/s. Получены средние значения коэффициента сопротивления для конических тел при квазистационарном сверхзвуковом движении в песчаном грунте средней влажности 7–12%, а для ударников с плоским передним торцом — в песчаном грунте влажностью от 0 до 16%. Показана существенная зависимость коэффициента сопротивления тонких конусов ($\beta < 25^\circ$) от скорости движения и отсутствия таковой (с учетом экспериментальной погрешности) для тупых конусов и ударника с плоским торцом. Ключевые слова: высокоскоростное проникание, конический проникатель, проникатель с плоским передним торцом, песок, коэффициент сопротивления.

См. также **21.05-01.164**

Поглотители слабых и интенсивных акустических волн

21.05-01.191 Резонансный звукопоглотитель воздушного шума. *Казakov Л.И. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 475-481. Рус.

Рассмотрен звукопоглотитель, состоящий из набора параллельно работающих резонаторов Гельмгольца, представленный в разных вариантах исполнения. Даны теория и методика расчета широкополосного звукопоглощающего покрытия для звукопроницаемой стенки, применимые и к другим родственным конструкциям. Приведен пример расчета акустических характеристик покрытия. Ключевые слова: резонаторы Гельмгольца, акустическая проводимость, физическая осуществимость, компенсирующие резонаторы, поглощение звука. DOI: 10.31857/S0320791921040043.

Шумоизоляция

21.05-01.192 Защита объекта на подвижном основании с помощью управления с упреждением и запаздыванием при ограниченных возмущениях. *Корнеев В.А. Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 4, с. 18-35. Рус.

Рассматривается задача построения гарантирующего управления для противоударного изолятора, защищающего объект на подвижном основании от ударов, которым подвержено основание. Ударное воздействие на основание заранее неизвестно, задается его ускорением, ограниченной знакопостоянной функцией времени фиксированной длительности, интеграл от которой по времени задан. Управление действует между основанием и защищаемым объектом, ограничено по величине, а абсолютное ускорение основания может превышать эту величину только на одном интервале времени. Минимизируемым критерием качества служит максимальное смещение объекта относительно основания. Разработана методика определения среди возмущений указанного класса наилучших возмущений, достигающих наибольшего значения критерия качества. Предложен эффективный закон управления с оптимизацией момента начала управления, основанный на комбинации двух методов управления, полученных ранее для прямоугольных возмущений и возмущений с неограниченной амплитудой.

Акустика помещений; Музыкальная акустика

Общие вопросы строительной акустики

21.05-01.193 Анализ поперечных виброударных колебаний высотных зданий на основе уравнения в частных производных. *Li Li, Raquel Martínez. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 1, с. 103-111. Рус.

Для сокращения времени решения задач, повышения точности решения и сокращения высоких энергозатрат при использовании традиционных методов анализа поперечных колебаний высотных зданий предложен новый метод на основе уравнения

в частных производных. На основе принципа Гамильтона вводится дифференциальное уравнение в частных производных для поперечной вибрации высотных зданий. Метод Галеркина используется при решении этого дифференциального уравнения для получения численного решения, а затем вычисляются дискретные смещения. Полученное решение описывает смещения высотных зданий при различных частотах возбуждения. Экспериментальные результаты показывают, что по сравнению с традиционным методом решения задачи предложенный метод позволяет сократить время расчета и снизить энергопотребление при обеспечении высокой точности решения.

Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование

Компьютерная обработка результатов эксперимента

21.05-01.194 Разрешение гребенчатых спектров в зависимости от центральной частоты и ширины спектральной полосы звуковых стимулов. *Милехина О.Н., Нечаев Д.И., Томозова М.С., Супин А.Я. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 561-570. Рус.

Звуковые стимулы с гребенчатыми спектрами используются для тестирования частотной разрешающей способности слуха. Получаемые оценки частотного разрешения зависят от центральной частоты и ширины спектральной полосы сигнала. Измерялось разрешение гребенчатой структуры спектра при различной центральной частоте и ширине частотной полосы сигнала и в двух схемах эксперимента: с использованием гребенчатого или плоского референтного сигналов. При гребенчатом референтном сигнале не было статистически значимой зависимости разрешения от центральной частоты и ширины спектральной полосы сигнала: во всех случаях разрешение было около 10 цикл/окт. При плоском (не гребенчатом) референтном сигнале разрешение гребенчатой структуры спектра существенно зависело как от центральной частоты тест-сигнала, так и от ширины его спектральной полосы: чем выше центральная частота и чем шире спектральная полоса, тем выше разрешение. Различные оценки разрешения, зависящее от используемого референтного сигнала, может быть объяснено разным участием механизма частотного анализа, основанного на профиле возбуждения, и временного механизма. Механизм, основанный на профиле возбуждения, эффективен для различения гребенчатого тест-сигнала и гребенчатого референтного сигнала. Механизм временного анализа эффективен для различения гребенчатого тест-сигнала и референтного сигнала с плоским спектром. Ключевые слова: слух, гребенчатые спектры, частотный анализ/ DOI: 10.31857/S0320791921050099.

21.05-01.195 Разработка алгоритма кодирования звука для системы кохlearной имплантации. *Глуховский Е.М., Егоров А.И., Карапетянц М.И. Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 4, с. 105-118. Рус.

Разработана стратегия стимуляции для нового устройства системы кохlearной имплантации, создаваемой в МФТИ. Построена модель восприятия звука, обработанного по такой стратегии, человеком с кохlearным имплантом. Качество работы стратегии оценивалось на слух путем сравнения звука, полученного с помощью обратного преобразования, и исходного сигнала. Трудно было учесть многие индивидуальные физиоло-

гические факторы, такие как перекрестная стимуляция соседних каналов, состояние нервных окончаний индивида. Но при использовании описанных упрощений было получено, что информация, передаваемая посредством стимуляции кохlearной зоны при применении данной стратегии, позволяет разборчиво воспроизводить речь.

Обработка акустических изображений

21.05-01.196 Сонография сердца вьюна *Misgurnus fossilis* на предличиничной стадии развития. *Титов С.А., Бурлаков А.Б., Богаченков А.Н. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 571-580. Рус.

Представлен метод ультразвукового исследования *in vivo* сердца низших позвоночных на ранних стадиях их развития. Для достижения достаточного пространственного разрешения в методе используется акустический микроскоп с механическим сканированием фокусирующего ультразвукового преобразователя, принятый сигнал которого регистрируется в зависимости от пространственных координат и времени. С помощью импульсного акустического микроскопа проведено исследование сердца вьюна *Misgurnus fossilis* на предличиничной стадии развития. Центральная частота и длительность огибающей регистрируемых отраженных импульсов составляли 70 МГц и 30 нс, соответственно. С помощью обработки записанного пространственно-временного сигнала визуализировано движение тканей желудочка, предсердия и клапанов в вентрикулярной области сердца, определен период сердечных биений и выделены фазы сердечного ритма. Показано, что характерные размеры желудочка и предсердия составляют 150–300 мкм. Произведено выделение откликов движущихся элементов крови и измерение скорости их движения в различных областях сердца в зависимости от времени. Найдено, что скорость кровотока достигает максимального значения 2.5 мм/с в период диастолы в вентрикулярной области сердца. В других областях пиковые значения в периоды диастолы и систолы находятся в пределах 1.5–0.8 мм/с. В соответствии с принципом энергетической доплерографии было визуализировано изменение плотности движущихся элементов крови в зависимости от времени. Ключевые слова: сонография, сердце, акустический микроскоп, скорость кровотока, доплерография, вьюн, предличиничная стадия. DOI: 10.31857/S0320791921050105.

Акустическая голография и томография

См. 21.05-01.37

Акустика живых систем; Биологическая акустика

Действие акустических колебаний на биологические среды и живые организмы

21.05-01.197 Физико-химические свойства мембран эритроцитов при взаимодействии с полиеновыми антибиотиками в поле действия ультразвуковых волн. *Султанова Г.Г., Касумов Х.М. Биофизика. 2021. 66, № 2, с. 302-311. Рус.*

DOI: 10.31857/S0006302921020113.

См. также **21.05-01.194, 21.05-01.196**

Распространение акустических волн в тканях и органах

21.05-01.198 Подстройка эхоимпульсов, отраженных от расположенных на разных дистанциях объектов, под слуховую чувствительность у дельфинов: модельные исследования. *Римская-Корсакова Л.К., Родионов А.А., Иванов М.П. Биофизика. 2021. 66, № 2, с. 372-383. Рус.*

DOI: 10.31857/S0006302921020198.

Применение ультразвука, физические основы акустических методов и приборов для биологии и медицины

См. **21.05-01.197**

Речеобразование и восприятие речи

21.05-01.199 Алгоритм сегментации речь/пауза на основе декомпозиции на эмпирические моды и одномерного расстояния Махаланобиса. *Алимурадов А.К., Тычков А.Ю., Чураков П.П., Агейкин А.В., Кулешов А.П., Чернов И.А. Тр. МФТИ. 2021. 13, № 3, с. 4-22. Рус.*

21.05-01.200 Помехоустойчивый адаптивный алгоритм сегментации "сигнал/пауза" для систем распознавания речи. *Алимурадов А.К., Чураков П.П. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015, № 2, с. 82-94. Рус.*

Актуальность и цели. Объектом исследования являются этапы обработки речевых сигналов, применяемые в системах распознавания речи. Предметом исследования является задача сегментации «сигнал/пауза», представляющая собой обнаружение границ участков сигнала и пауз в общем потоке речевых сигналов. Цель работы — разработка и исследование помехоустойчивого алгоритма сегментации «сигнал/пауза», адаптивного к агрессивно зашумленной среде. Материалы и методы. В разработке алгоритма использовались: метод адаптивной обработки нелинейных и нестационарных сигналов — комплементарная множественная декомпозиция на эмпирические моды; метод обработки статистических данных — независимый компонентный анализ; метод разграничения с использованием понятий нормального распределения и одномерного расстояния Махаланобиса. Результаты. Разработан и исследован помехоустойчивый адаптивный алгоритм сегментации «сигнал/пауза» для систем распознавания речи. Представлена блок-схема алгоритма с подробным математическим описанием. Указаны преимущества по сравнению с известными алгоритмами сегментации «сигнал/пауза», применяемыми в системах распознавания речи. Разработанный алгоритм обеспечивает повышение коэффициента действительного обнаружения в среднем на 13%. Выводы. Сопоставление результатов исследований позволяет сделать вывод, что разработанный помехоустойчивый адаптивный алгоритм сегментации «сигнал/пауза» рекомендуется для практического применения в системах распознавания речи, используемых в агрессивно зашумленной среде.

21.05-01.201 Способ сегментации речевого сигнала для систем оценки психогенных состояний. *Алимурадов А.К., Тычков А.Ю., Чураков П.П., Торгашин С.И.*

Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2017, № 3, с. 81-93. Рус.

Актуальность и цели. Низкая точность распознавания речевых сигналов в условиях психических отклонений у человека является одной из главных причин практической реализации систем оценки психогенных состояний. Это связано с использованием неустойчивых к шумам и неадаптивных методов обработки сложных нестационарных сигналов. В статье предложен способ сегментации сигнал/пауза, работающих в условиях зашумленной обстановки. Материалы и методы. В разработке способа сегментации речевого сигнала для систем оценки психогенного здоровья использовались: комплементарная множественная декомпозиция на эмпирические моды (КМДЭМ) и метод разграничения на основе физиологического аспекта формирования речи и функционала слухового аппарата человека. Результаты. Представлена структурная схема способа. Указаны преимущества разрабатываемого решения в сравнении с известными способами сегментации сигнал/пауза STE+ZCR, IE и MFCC. Выводы. Представленный способ обеспечивает повышение коэффициента действительного обнаружения речевого сигнала до 6%. Сравнение результатов исследований позволяет сделать вывод, что разработанный способ сегментации сигнал/пауза может быть применен для практического применения в системах оценки психогенных состояний. DOI 10.21685/2072-3059-2017-3-7.

21.05-01.202 Помехоустойчивый алгоритм определения просодических характеристик речевых сигналов для систем оценки психоэмоционального состояния человека. *Алимурадов А.К., Тычков А.Ю., Чураков П.П., Артамонов Д.В. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2019, № 3, с. 3-16. Рус.*

Актуальность и цели. В последнее десятилетие активно развивается направление автоматизированной оценки психоэмоционального состояния человека по речи. В условиях сложной «агрессивной» шумовой обстановки все речевые сигналы в той или иной степени зашумлены. В зависимости от интенсивности и вида шум может значительно исказить результаты оценки психоэмоционального состояния человека. Целью исследования является разработка помехоустойчивого алгоритма определения просодических характеристик речевых сигналов для повышения эффективности оценки психоэмоционального состояния человека. Материалы и методы. В разработке способа использовались: уникальная технология адаптивной декомпозиции нестационарных сигналов — улучшенная полная множественная декомпозиция на эмпирические моды с адаптивным шумом. Программная реализация способа была выполнена в среде математического моделирования © Matlab (MathWorks). Результаты. Разработан помехоустойчивый алгоритм определения просодических характеристик речи, суть которого заключается в разложении речевого сигнала на информативные шумовые и информативные частотные составляющие с помощью улучшенной полной множественной декомпозиции на эмпирические моды с адаптивным шумом; выделении составляющей, содержащей основной тон с последующим определением просодических характеристик. Проведено исследование с использованием верифицированной базы чистых и зашумленных речевых сигналов, зарегистрированной с использованием 220 человек мужского и женского пола в возрасте от 18 до 79 лет с признаками психоэмоциональных расстройств. Выводы. В соответствии с результатами исследований выявлено, что предложенный алгоритм обеспечивает устойчивость к шуму различной интенсивности (отношение сигнал/шум от 0 до 30 дБ) и может тестироваться в реальных условиях «агрессивной» шумовой обстановки в системах оценки психоэмоционального состояния человека.

21.05-01.203 Способы повышения эффективности сегментации речь/пауза на основе метода декомпозиции на эмпирические моды. *Алимурадов А.К., Тычков А.Ю., Чураков П.П., Агейкин А.В., Кузьмин А.В., Митрохин М.А., Чернов И.А. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021, № 2, с. 24-43. Рус.*

Актуальность и цели. Сегментация речь/пауза является одной из важнейших задач обработки в речевых приложениях и

представляет собой точное обнаружение границ начала и окончания вокализованной, невокализованной речи и пауз. Особенно это важно при анализе скорости, ускорения и энтропии распределения вокализованных, невокализованных участков речи и пауз, а также при анализе средней продолжительности пауз. Целью работы является повышение эффективности сегментации речь/пауза на основе метода декомпозиции на эмпирические моды. Материалы и методы. В работе использовалась уникальная технология адаптивного разложения нестационарных сигналов — улучшенная полная множественная декомпозиция на эмпирические моды с адаптивным шумом. Программная реализация способа была выполнена в среде математического моделирования © Matlab (MathWorks). Результаты. Разработан способ, основанный на применении декомпозиции на этапе предварительной обработки исходных речевых сигналов для формирования набора новых исследуемых сигналов, содержащих максимально достоверную информацию о границах начала и окончания участков вокализованной, невокализованной речи и пауз. Проведено исследование, в рамках которого оценивалось влияние метода декомпозиции и длительности

исследуемых фрагментов сигналов на эффективность сегментации речь/пауза. Для сегментации использовались способы, основанные на анализе количества пересечения сигнала через нулевую ось, кратковременной энергии, а также на основе анализа одномерного расстояния Махаланобиса. Выводы. В соответствии с результатами исследований выявлено, что предложенный способ обеспечивает повышение эффективности сегментации участков вокализованной и невокализованной речи: для способа на основе анализа количества пересечения сигнала через нулевую ось — на 13,96%; для способа на основе анализа кратковременной энергии — на 8,24%; для способа на основе совместного анализа количества пересечения и кратковременной энергии — на 5,72%; для способа на основе анализа одномерного расстояния Махаланобиса — на 17,85%. DOI 10.21685/2072-3059-2021-2-3.

Физиологическая и психологическая акустика

См. 21.05-01.195, 21.05-01.198

Физические основы технической акустики

Устройства для генерации, репродукции, приема акустических сигналов

21.05-01.204 Обработка сигналов в системах ультразвуковой локации объектов для закрытых помещений. *Мясникова Н.В., Боряк С.В., Мясникова М.Г. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* 2019, № 4, с. 87-97. Рус.

Актуальность и цели. Рассмотрены принципы построения системы управления мобильным роботом на основе ультразвуковой системы (УЗС) отслеживания координат, а также методы цифровой обработки сигналов для обнаружения и выделения частотных составляющих. Целью работы является обоснование, выбор и совершенствование существующих алгоритмов обработки сигналов для локации объектов. Материалы и методы. Исследование проводилось с использованием среды Matlab, физической модели мобильного робота, ультразвуковой навигационной системы. Результаты. Сопоставлены инверсные системы, в которых приемники стационарны, а излучатели мобильны, с неинверсными системами, в которых излучатели стационарны, а приемники мобильны. Обоснованы методы цифровой обработки сигналов для задач локации объекта — спектрального, корреляционного и параметрического анализа. Выводы. Предложенные решения позволяют повысить точность позиционирования мобильного робота по сравнению с относительными системами позиционирования. Обосновано применение алгоритмов Прони и Рутисхаузера для выделения близких частотных составляющих, проведено их сравнение.

21.05-01.205 Разработка и применение системы на основе датчиков проводимости для исследования взаимодействия между сверхзвуковой паровой струей и водой. *Khan Afrasyab, Sanaullah Khairuddin, Cnuridonov E.K., Подзерго А.В., Хабарова Д.Ф., Ali Ahmad Hasan, Farooqi Ahmed Salam, Zwawi Mohammed, Algarni Mohammed, Felemban Bassem F., Bahada Ali, Ullah Atta, Abdullah Bawadi. Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 4, с. 141-151. Рус.

Работа представляет собой попытку описать парожидкостный поток с фазовыми переходами, что может помочь в определении передачи массы, количества движения и энергии в межфазной области, содержащей пар и воду. В этом исследовании описывается разработка сенсорной электродной системы измерения паровой фракции, основанной на электродах на основе переменного тока, называемой системой томографии электрического сопротивления (ERT — Electrical Resistance Tomography). Система на основе ERT была применена, чтобы выявить процессы, связанные со сверхзвуковой закачкой пара в объем воды. Система сбора данных на основе ERT применялась в те-

чение заданного интервала времени, а полученные данные обрабатывались с использованием бесплатного кода, известного как EIDORS. Изображения, полученные таким образом с помощью EIDORS, дали плоскую картину сверхзвуковой струи пара в окружающей воде. Изображения представляют собой хорошо видимые границы между фазами пара и воды, а также турбулентную зону между ними. Было обнаружено, что при повышении температуры на 30–60°C площадь паровой струи увеличивается с 46.51 до 65.40% при давлении пара на входе 3.0 бар.

См. также 21.05-01.195

Акустические измерения и аппаратура

21.05-01.206 Экспертная система для настройщика ультразвуковых аппаратов. *Клименченко Е.В., Абраменко Д.С. Южно-Сибирский научный вестник.* 2021, № 3, с. 88-92. Рус.

DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.011 Представлены результаты разработки экспертной системы аккумулирующей знания настройщиков ультразвуковых технологических аппаратов и позволяющая выработать рекомендации по аппаратному и программному обеспечению для ультразвукового аппарата, предназначенного для решения нестандартной или новой задачи. Приводятся результаты анализа внутреннего устройства ультразвуковых аппаратов, в результате которого были выделены параметры, которые будут содержаться в базе данных, а также в итоговом отчете в качестве выходных параметров. Описаны технологии, используемые при разработке пользовательского интерфейса. Предложен и описан способ подбора комплектующих для ультразвукового аппарата, основанный на методе анализа иерархий, а также представлены результаты подбора состава аппарата на основе требований пользователя.

21.05-01.207 Увеличение скорости регистрации эхосигналов ультразвуковой антенной решеткой с применением технологий множественного доступа с кодовым разделением. *Авагян В.К., Базулин Е.Г. Дефектоскопия.* 2020, № 11, с. 3-16. Рус.

Недостатком использования метода цифровой фокусировки антенны (ЦФА) для получения изображения отражателей является большой объем эхосигналов и недостаточно высокая скорость их регистрации. Для ее повышения предлагается одновременно всеми элементами антенной решетки (АР) излучать зондирующие импульсы, сформированные по наборам кодовых последовательностей, используемых в технологии Code Division Multiple Access (CDMA). Измеренные эхосигналы можно декодировать с помощью согласованной фильтрации (СФ) и восстановить изображение отражателей методом комбинированного

SAFT (C-SAFT). Восстановить изображение без декодирования измеренных эхосигналов можно методом МЭ. Предложенная технология была испытана для получения изображений отражателей в образцах из дюралюминия, стали 20 и стали 40. DOI: 10.31857/S0130308220110019.

21.05-01.208 Оценка реальной чувствительности приемочного ультразвукового контроля рельсов. *Шелухин А.А. Дефектоскопия.* 2020, № 11, с. 17-27. Рус.

Выполнен анализ акустического тракта при приемочном эхоимпульсном контроле головки рельсов. Оценено влияние параметров применяемых пьезоэлектрических преобразователей на распределение чувствительности для применяемой в действующих установках схемы прозвучивания и выполнена оценка реальной чувствительности выявления дефектов типа «неметаллическое включение». DOI: 10.31857/S0130308220110020.

21.05-01.209 Использование метода акустоупругости для контроля упругих механических напряжений в материале колец подшипников. *Рыжова А.О., Бехер С.А., Попков А.А. Дефектоскопия.* 2020, № 11, с. 28-37. Рус.

Разработаны и изготовлены настроечные образцы натяга колец подшипников на шейку оси колесной пары вагона и выполнена аттестация гидравлического стенда для нагружения колец подшипников, имитирующего их прессовую посадку на ось. Создана и решена математическая модель способа контроля механических напряжений кольца подшипника акустоупругим методом при хордовом прозвучивании, учитывающая изменение угла между направлением распространения волны и осью главных механических напряжений. Экспериментально при нагружении кольца подшипника определен коэффициент акустоупругости продольной волны в стали ШХ15. Проведены измерения натяга колец подшипников на настроечных образцах натяга методом акустоупругости. DOI: 10.31857/S0130308220110032.

21.05-01.210 Применение методов неразрушающего контроля качества при обследовании состояния систем молниезащиты пожаро-взрывоопасных объектов. *Могильнер Л.Ю., Скуридин Н.Н., Власов Н.А., Хузяганов И.А. Дефектоскопия.* 2020, № 11, с. 58-64. Рус.

Рассмотрены вопросы неразрушающего контроля качества, выполняемого при обследовании состояния систем молниезащиты пожаровзрывоопасных объектов, в том числе — площадных объектов магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов. Указано на необходимость выполнения трех видов работ: количественной оценки наличия элементов системы молниезащиты, визуального и измерительного контроля элементов системы с применением геометрических и геодезических измерений, измерений электрических параметров элементов системы молниезащиты. Описаны особенности контроля и измерений, связанных с расчетом зон защиты от прямого удара молнии при использовании молниеприемников различного типа или их комбинаций. Приведены примеры оценки погрешности расчета зон защиты от прямого удара молнии. DOI: 10.31857/S0130308220110068.

21.05-01.211 Лазерный оптико-акустический метод количественной оценки пористости литых дисперсно-упрочненных металломатричных композиционных материалов. *Подымова Н.Б., Калашиников И.Е., Кобелева Л.И. Дефектоскопия.* 2020, № 12, с. 3-13. Рус.

Предложен и экспериментально реализован лазерный оптико-акустический метод количественной оценки объемной пористости литых дисперсно-упрочненных металломатричных композиционных материалов. Метод основан на статистическом анализе распределения амплитуд обратнорассеянных широкополосных импульсов продольных акустических волн в исследуемых материалах. Лазерное возбуждение и пьезоэлектрическая регистрация ультразвука реализуется при одностороннем доступе к объекту контроля с использованием специального лазерно-ультразвукового преобразователя. Исследовались композиты на основе силумина, упрочненного микрочастицами карбиды кремния в различной объемной концентрации (0,033—0,135), и композиты, полученные методом реакционного литья на основе алюминия, упрочненного интерметаллидом Al3Ti

(объемные концентрации 0,04—0,115). Для обоих типов композитов распределение амплитуд обратнорассеянных ультразвуковых сигналов аппроксимируется гауссовской функцией распределения, применимой для большого числа статистически независимых величин. Эмпирически полученная зависимость полуширины этого распределения от объемной пористости композитов двух различных типов аппроксимируется одной и той же линейной функцией независимо от технологии изготовления, а также от типа, размера и концентрации упрочняющих частиц.

21.05-01.212 Мониторинг разрушения волокон композитных материалов с применением системы акустической эмиссии, виброанализатора и высокоскоростной видеосъемки. *Махутов Н.А., Иванов В.И., Соколова А.Г., Васильев И.Е., Чернов Д.В., Скворцов Д.Ф., Бубнов М.А. Дефектоскопия.* 2020, № 12, с. 14-23. Рус.

Рассмотрена природа возникновения явления акустической эмиссии (АЭ) в процессе деформирования и разрушения твердых тел. Проведен теоретический анализ процессов трансформации и диссипации энергии при разрушении структурных связей идеализированной модели твердого тела. С применением АЭ систем A-line32D и PCI-2, виброанализатора Оникс и высокоскоростной камеры Видеоспринт, а также численного моделирования в программной среде LS-DYNA проведены исследования волновых процессов, возникающих при деформировании и разрыве армирующих волокон композитных материалов. Полученные экспериментальные и расчетные данные показали, что основная энергия в период последствия разрыва волокон выделяется в диапазоне звуковых частот меньше 2 кГц. При этом энергия пиковых значений, регистрируемых в ультразвуковом диапазоне частот, не превышает нескольких процентов относительно максимального уровня на несущей частоте в звуковом диапазоне.

21.05-01.213 Параметры акустической неоднородности для неразрушающей оценки влияния технологии изготовления и эксплуатационной поврежденности на структуру металла. *Пасманик Л.А., Камышев А.В., Радостин А.В., Зайцев В.Ю. Дефектоскопия.* 2020, № 12, с. 24-36. Рус.

Предложен акустический способ неразрушающего контроля вариаций структуры металла, обусловленных нарушениями технологии изготовления или накоплением повреждений в процессе эксплуатации. В его основе лежат измерения микроструктурно-чувствительных акустических параметров, которые определяются как нормированные величины отклонения отношений скоростей продольной и сдвиговых волн от значений, характерных для «базового состояния» структуры металла. В качестве «базового», в зависимости от конкретной задачи, рассматривается состояние структуры металла до начала эксплуатации объекта контроля или структуры металла контрольных образцов, прочностные характеристики которых определены стандартными методами разрушающего контроля и находятся в допустимых пределах. Обсуждается связь предложенных акустических параметров с различием между «базовым» и реальным состоянием материала (в терминах интегральных величин податливости микроструктурных неоднородностей по отношению к сдвиговым и продольным напряжениям). Эффективность предложенного подхода к оценке структуры металла продемонстрирована на результатах экспериментальных исследований двух существенно различных типов структуры: с изотропным и анизотропным характером неоднородностей. Инструментальный контроль предложенных параметров может быть использован для: неразрушающего контроля качества выполнения техпроцессов в процессе производства изделий металлургии и машиностроения; оценки степени накопления повреждений металла при эксплуатации; оценки механических свойств, характеристик трещиностойкости и других физических свойств металла.

21.05-01.214 Построение дисперсионной зависимости корректирующего коэффициента при контроле компактных изделий квадратного сечения импакт-эхометодом. *Качанов В.К., Соколов И.В., Самокрутов А.А., Шевальдыжин В.Г., Федоренко С.А., Алевшин С.Г., Козлов А.В., Пичугин Н.К. Дефектоскопия.*

2021, № 1, с. 3-14. Рус.

Приведены результаты вычисления коэффициента коррекции геометрической дисперсии скорости звука β в компактных изделиях квадратного сечения при различных отношениях толщины к стороне сечения. С помощью моделирования в программной среде ANSYS показано, что по мере увеличения данного отношения происходит трансформация основного вида колебаний, обуславливающего собственный резонанс в компактном изделии: от продольных волн в компактных изделиях типа «свая» к волнам Лэмба в компактных изделиях типа «плита». При этом в компактных изделиях происходит нелинейное изменение коэффициента β , позволяющего скорректировать эффект геометрической дисперсии. Рассчитана дисперсионная зависимость коэффициента β в компактных объектах квадратного поперечного сечения от различного соотношения толщины и стороны сечения изделия.

21.05-01.215 **Пакетный вейвлет-анализ торкрет-каменных структур с использованием импакт-эхометода.** *Яо Ф., Цао И., Чен Г. Дефектоскопия.* 2021, № 1, с. 45-56. Рус.

Изучается качество контакта торкрет-каменных структур с использованием импакт-эхометода (ИЭ) для обнаружения дефектов в торкрет-бетоне толщиной 10 и 20 см. Проведены численные и экспериментальные исследования. Традиционный анализ частотных характеристик может дать только качественную оценку, но не может количественно оценить критичность дефекта на поверхности контакта. Пакетное вейвлет-разложение используется для анализа сигнала с целью получения распределения энергии в каждой полосе частот. После этого рассчитывают относительные собственные значения энергии пакета вейвлета и получают показатель энергетической характеристики торкрет-бетона с различной толщиной и состоянием контакта. Подход к оценке качества границы раздела, основанный на энергии, применялся для количественной оценки качества контакта на поверхности раздела торкрет-каменных структур.

21.05-01.216 **Влияние направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей при испытании динасовых кирпичей ультразвуковым импульсным методом.** *Брозовский И., БоднарOVA Л. Дефектоскопия.* 2021, № 2, с. 15-23. Рус.

Приводятся сведения о влиянии направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей на результаты измерений ультразвуковым методом на кирпичах из динаса. Порядок измерения ультразвуковым импульсным методом, указанный в стандартах для других строительных материалов, не совсем применим при испытании динасового кирпича. Весьма проблематичным является использование для измерений преобразователей с собственной частотой 500 кГц. Не подтвердилось предположение о том, что скорость распространения ультразвука увеличивается с уменьшением длины базы прозвучивания. Самые низкие скорости распространения ультразвука были установлены при прозвучивании по высоте образца. Эту аномалию можно объяснить ориентировкой открытых пор во внутренней структуре кирпича, а также процессом формирования. Приведенные сведения о влиянии направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей создают условия для обеспечения воспроизводимости результатов измерений динасовых кирпичей.

21.05-01.217 **Ультразвуковой контроль сварного шва тонкостенной титановой оболочки с индикатором непровара.** *Исаджин Р.Р., Борисов В.Н., Атаевич В.Г., Узкиз А.А., Хафизова К.К. Дефектоскопия.* 2021, № 2, с. 24-32. Рус.

Рассмотрена методология ультразвукового контроля качества сварного шва тонкостенных оболочек из титанового сплава толщиной 0,6 мм. Выполнен обзор публикаций, посвященных вопросам возбуждения и распространения волн Лэмба и практическим задачам УЗК тонкостенных изделий. Решена задача выявления слипаний (участков сварного шва с непроваром, хорошо проводящих ультразвуковые волны, но не обеспечивающих механической прочности). Предложено в качестве индикатора непровара сварного шва использовать угловую проточ-

ку. Выполнен анализ распространения в материале различных мод волн Лэмба, выбраны оптимальные параметры контроля. Высокая информативность сигнала достигнута с применением вейвлет-анализа и прецизионных цифровых фильтров с малым шагом. Выполнен анализ дефектограмм сварного шва, содержащего дефектные и бездефектные участки. Результаты ультразвукового сканирования сопоставлены с данными металлографии.

21.05-01.218 **Диагностика ударных повреждений монолитных и сотовых углепластиков с помощью ультразвуковых волн Лэмба.** *Бурков М.В., Еремин А.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Панин С.В. Дефектоскопия.* 2021, № 2, с. 33-43. Рус.

Представлены результаты использования методики на основе ультразвуковых волн Лэмба для обнаружения ударных повреждений углепластиков и определения степени их критичности. В качестве основы выступает сеть наклеенных на поверхность пьезопреобразователей, которая работает в переменном режиме, позволяя поочередно менять функцию преобразователей (источник/приемник) для регистрации отклика сети в результате прохождения тестового сигнала. Анализ результатов мониторинга осуществляется посредством сравнения трех параметров: изменение амплитуды (dA), изменение энергии (dP) и нормированный коэффициент корреляции (NCC) сигналов в базовом неповрежденном и текущем поврежденном состояниях. Испытания монолитных углепластиков показывают, что точность обнаружения повреждения составляет 5–15 мм, в то время как рассчитанный индекс поврежденности линейно зависит от приложенной энергии удара. Для сотовых углепластиков NCC не дает точных результатов, однако другие параметры позволяют идентифицировать повреждения с погрешностью 5–20 мм и отражают данные о степени повреждения.

21.05-01.219 **Акустический газоанализатор.** *Алферов В.Н., Васильев Д.А. Приборы и техника эксперимента.* 2020, № 5, с. 148-152. Рус.

Рассмотрены способы измерения состава бинарной газовой смеси с использованием зависимости скорости звука в газе от его молекулярного веса, в частности, с помощью акустического резонатора. Описаны разработанные на этом принципе в НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ датчик содержания водорода в атмосфере мишенной станции для циклотрона ускорителя С-70, обеспечивающего наработку медицинских изотопов, а также датчик содержания неона в гелии при его ожигении. Оптимизация характеристик резонатора позволила достигнуть разрешающей способности 10^{-5} .

21.05-01.220 **Акустооптические устройства на основе многолучевой дифракции.** *Антонов С.Н., Резвов Ю.Г. Приборы и техника эксперимента.* 2020, № 6, с. 46-52. Рус.

Рассмотрена многолучевая акустооптическая брэгговская дифракция лазерного излучения — деление исходного луча на несколько независимо управляемых лучей (каналов) без принципиальных потерь световой мощности. Получены практически значимые соотношения, определяющие условия реализации многолучевой дифракции и ее основные параметры. Показано, что необходимым условием является вид управляющего радиосигнала, близкий к частотно(фазово)-модулированному. Экспериментальные исследования проведены на поляризационно-нечувствительном акустооптическом дефлекторе на кристалле парателлурита. Показаны практические применения многолучевой дифракции: лазерное нанесение изображений, многоканальная передача (переключения) оптической информации, формирование профиля лазерного луча.

21.05-01.221 **Автономная низкочастотная широкополосная гидроакустическая излучающая станция с электромагнитным преобразователем.** *Пивоваров А.А., Ярошук И.О., Швырев А.Н., Самченко А.Н. Приборы и техника эксперимента.* 2020, № 6, с. 95-99. Рус.

Гидроакустическая излучающая станция с электромагнитным преобразователем развивает акустическое давление до 2400 Па (188 дБ), приведенное к расстоянию 1 м от оси излучателя, в диапазоне частот 420–520 Гц (по уровню –3 дБ) и обладает рабочей глубиной погружения до 500 м. приме-

ненные технические решения позволяют использовать станцию для широкого круга океанологических исследований, а также при построении систем навигации подводных аппаратов и передачи данных по гидроакустическому каналу.

21.05-01.222 **Аппаратурный комплекс для многочастотного акустического зондирования морской среды.** *Корсков И.В.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 2, с. 151-152. Рус.

DOI: 10.31857/S0032816221020063.

21.05-01.223 **Оптимизация эксплуатационных параметров акустооптической линии задержки.** *Гасанов А.Р., Гасанов Р.А., Ахмедов Р.А., Садыгов М.В.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 3, с. 82-87. Рус.

Проведен анализ эксплуатационных параметров акустооптической линии задержки (а.о.л.з.) с прямым детектированием, таких как диапазон плавно управляемой задержки сигналов и граничная частота полосы пропускания. Показано, что диапазон плавно управляемой задержки сигналов ограничен максимальной длиной фотоупругой ячейки и минимальной скоростью распространения упругой волны в ней. В то же время граничная частота напрямую определяется временем пересечения оптического пучка упругим волновым пакетом. Получено уравнение переходной характеристики а.о.л.з., которое затем использовано для исследования характера зависимости граничной частоты полосы пропускания от диаметра светового пучка и скорости распространения упругой волны в фотоупругой ячейке. Результаты численного анализа апробированы экспериментально на макете а.о.л.з. с прямым детектированием.

21.05-01.224 **Автономный акустический регистратор и его применение в составе гидрофизического комплекса.** *Пивоваров А.А., Яроцук И.О., Долгих Г.И., Швырев А.Н., Самченко А.Н.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 3, с. 123-128. Рус.

Описаны конструктивные решения и характеристики автономных акустических регистраторов, а также дано краткое описание элементов измерительного гидрофизического комплекса (излучатели, термогирлянды и др.), в составе которого они применяются. Технические возможности, заложенные в акустические регистраторы, позволяют оперативно создавать различные конфигурации дискретных антенных решеток и акустических интерферометров. На основе данных, полученных с таких приемных систем в составе гидрофизического комплекса, можно проводить диагностику водной среды, донных осадков, а также оценивать акустические характеристики различных источников звука. Предложены некоторые методы и подходы для решения подобных задач и приведены примеры.

21.05-01.225 **Акустооптический сумматор-модулятор излучения лазеров.** *Антонов С.Н.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 4, с. 51-53. Рус.

Акустооптический метод суммирования мощности двух одно-типных лазеров с модуляцией и регулировкой интенсивности основан на одновременной дифракции двух лазерных лучей в одном акустооптическом кристалле парателлурита на одной акустической волне. Для лазеров с длинами волн от 400 до 1000 нм частотный диапазон акустических волн составляет 30–5 МГц. Метод применим как для непрерывных, так и для импульсных лазеров. На примере сложения мощностей непрерывных полупроводниковых лазеров (мощность 10 Вт, длина волны 532 нм) показано, что суммарная мощность составила 19.2 Вт.

21.05-01.226 **Акустооптический фильтр пространственных частот двухцветного излучения, оперирующий в первом дифракционном порядке.** *Котов В.М., Воронко А.И.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 4, с. 54-59. Рус.

Исследованы характеристики акустооптической (а.о.) брэгговской ячейки двухцветного излучения в качестве дифференциального фильтра пространственных частот, в котором рабочим является первый дифракционный порядок. Показано, что в общем случае невозможно обеспечить двумерное дифференцирование изображения одновременно на двух длинах волн. Найден вариант, позволяющий перейти от одной длины волны к другой с сохранением операции двумерного дифференцирова-

ния посредством изменения мощности звука. Вариант экспериментально подтвержден на примере формирования двумерного контура с использованием двухцветного излучения Ar-лазера, генерирующего на длинах волн $0.488 \cdot 10^{-4}$ см и $0.514 \cdot 10^{-4}$ см, и а.о.-ячейки из TeO_2 , работающей на частоте звука 51 МГц.

21.05-01.227 **Аппаратно-программный комплекс для ипсилатерального измерения порога акустического рефлекса.** *Богомолов А.В., Драган С.П., Оленина И.В.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 4, с. 95-104. Рус.

Аппаратно-программный комплекс предназначен для ипсилатерального измерения акустического рефлекса путем определения резонансной частоты наружного слухового прохода, изменяющейся за счет произвольного сокращения мышц среднего уха в ответ на звуки высокой интенсивности. Для определения резонансных характеристик наружного слухового прохода используется модифицированный метод двух микрофонов. Изменяя звуковое давление и разность фаз звуковых колебаний в двух сечениях волновода, герметично соединенного с наружным слуховым проходом, в заданном диапазоне частот определяют необходимые акустические характеристики. Программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме формировать тестовый полигармонический сигнал и управлять амплитудой стимулирующего сигнала, а по результатам обработки измеренных данных рассчитывать частотно-зависимые коэффициенты отражения, коэффициенты поглощения и компоненты акустического импеданса наружного слухового прохода. Принципиальными особенностями разработанного комплекса являются отсутствие необходимости создания стационарного избыточного давления в наружном слуховом проходе, а также обеспечение прямого измерения импеданса наружного слухового прохода в звуковом диапазоне частот с любым заданным шагом.

21.05-01.228 **Измерение мгновенных значений температуры газов газотурбинного двигателя с использованием акустических мультивибраторов.** *Артюхов А.В., Марков В.Г., Сужинец Ж.А., Гулин А.И.* *Приборы и техника эксперимента.* 2021, № 6, с. 114-119. Рус.

Разработано дифференциальное устройство для измерения температуры в канале управления газотурбинного двигателя (г.т.д.), где неравномерность поля температур по радиусу и по окружности достигает 100–400 К и может меняться на переходных режимах со скоростью до 400 К/с. Устройство состоит из двух каналов измерения и блока обработки информации и обладает чувствительностью 8.5 Гц/К. Быстродействие устройства на три порядка превышает быстродействие термопар, что позволяет измерять истинную температуру газов г.т.д. Представлены функциональная схема устройства, описаны стенды для проведения испытаний, приведены результаты исследований, подтверждающие высокие метрологические характеристики устройства измерения.

См. также **21.05-01.53**, **21.05-01.77**, **21.05-01.78**, **21.05-01.119**, **21.05-01.129**, **21.05-01.130**, **21.05-01.137**, **21.05-01.153**

Акустическая диагностика и неразрушающий контроль

21.05-01.229 **Динамика роста трещины гидроразрыва по данным ультразвукового просвечивания в лабораторных экспериментах.** *Турунтаев С.Б., Зенченко Е.В., Зенченко П.Е., Тримонова М.А., Барышников Н.А., Новикова Е.В.* *Физика Земли.* 2021, № 5, с. 104-119. Рус.

Данные акустического просвечивания, полученные в лабораторном эксперименте, были использованы для выделения стадий возникновения, роста и заполнения жидкостью трещины гидроразрыва. Лабораторная установка позволяет выполнять эксперименты с пористыми насыщенными образцами искусственных материалов диаметром 430 мм и высотой 70 мм. В качестве модельного материала использовалась смесь гипса с цементом, образец насыщали водным раствором гипса и нагружали вертикальными и двумя горизонтальными независимыми напряжениями. Трещина создавалась закачкой вязкой жидко-

сти с постоянной скоростью через обсаженную скважину в центре образца. Мониторинг гидроразрыва пласта осуществлялся путем регистрации ультразвуковых импульсов, проходящих через образец. Сравнение вариаций амплитуд ультразвуковых импульсов и давления закачки привело к следующим наблюдениям: начало роста трещины гидроразрыва пласта происходит при давлении, меньшем максимального значения; рост трещины происходит быстрее ее заполнения жидкостью; после заполнения трещины жидкостью происходит увеличение раскрытия трещины. Когда закачка прекращается, регистрируется закрытие трещины по мере снижения давления в скважине за счет фильтрации в образец. Показана возможность создания вторичной трещины гидроразрыва в случае изменения ориентации главных сжимающих напряжений при условии, если первичная трещина перпендикулярна оси скважины, а вторичная — параллельна оси.

21.05-01.230 Акустическое отображение стадийности процесса деформации конструкционной стали 09Г2С. *Ожиганов Е.А., Коновалов С.В. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2021. 18, № 1, с. 43-48. Рус.

Проблема надёжности и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, в настоящее время приобретает все большее значение. Трубопроводы являются одним из самых распространенных средств транспортировки газообразной и жидкой среды. В настоящее время наряду с традиционными гидравлическими испытаниями трубопроводов на плотность и прочность, начали проводиться и стресс-испытания — сущность данных испытаний заключается в нагружении участка трубопровода до фактического предела текучести и последующей проверке на герметичность. Проведение стресс-испытаний потенциально связано с риском возникновением аварий и разрушения трубопровода, поэтому для определения стадии пластической деформации, совместно со стресс-испытаниями предложено проводить регистрацию и анализ источников акустической эмиссии в режиме реального времени. Проведены экспериментальные исследования акустической эмиссии при упруго-пластической деформации образцов сварных соединений из конструкционных сталей. Проанализированы основные параметры сигнала акустической эмиссии (сумма импульсов, активность, амплитуда) на всех стадиях деформации (упругих деформаций, легкого скольжения, линейного и параболического упрочнения). Методом математического анализа установлены характерные для каждой из стадий зависимости. Предложена возможность применения установленных математических зависимостей сигнала акустической эмиссии в качестве четырёхпараметрического трехуровневого критерия предельной нагрузки при стресс-испытаниях трубопроводов из конструкционных сталей.

21.05-01.231 Эволюция акустических импульсов в поврежденных подземных трубопроводах. *Шаганов В.Ш., Галиакбарова Э.В., Хажимова З.Р. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки.* 2021. 163, № 1, с. 48-58. Рус.

Исследована динамика импульсного сигнала, распространяющегося по углеводородной жидкости, которой заполнен нефтепродуктопровод. Последний находится в грунте и имеет участок, подверженный коррозии. Полагается, что длина волны сканирующего импульса меньше длины пораженного участка и что интенсивность утечки углеводородной жидкости полностью лимитируется проницаемостью грунта. Получены дисперсионные выражения для распространения импульсного сигнала на участке с коррозионным повреждением. Проанализированы зависимости фазовой скорости, коэффициента затухания и коэффициента отражения на границе поврежденного участка от частоты сигнала. Исследовано влияние радиуса канала и проницаемости грунта на коэффициент затухания, а также влияние радиуса канала на фазовую скорость.

21.05-01.232 Идентификация возникновения зарождающихся дефектов в узлах новых корабельных механизмов в процессе адаптивного вибродиагностирования на основе многомерных признаков. *Давыдов В.С., Стебляк Д.В. Акустический журнал.* 2021. 67, № 5, с. 551-560. Рус.

Разработан метод идентификации возникновения зарождающихся дефектов в узлах новых корабельных механизмов, ранее не прошедших вибродиагностическое тестирование, при отсутствии статистических данных об изменении виброакустических параметров и признаков диагностирования под воздействием характерных неисправностей. Реализован метод идентификации неисправных узлов, в которых возникли зарождающиеся дефекты под воздействием неизвестных неисправностей. Разработан алгоритм построения границ эталонных областей путем интегрирования условных многомерных плотностей вероятностей признаков пространств, характеризующих распределение зарождающихся дефектов для исправного состояния механизма. Предложено правило идентификации возникновения зарождающихся дефектов в отдельных узлах механизма в случае выхода многомерных признаков за границы эталонных областей. Предложено правило идентификации возникновения зарождающихся дефектов в узлах механизмов, построенное на основе непараметрического критерия согласия для оценки совпадения условных функций распределения многомерных признаков, характеризующих эти дефекты. Экспериментальная проверка разработанного метода выполнена при проведении натурных виброакустических испытаний корабельных механизмов. Ключевые слова: вибродиагностика, виброакустический сигнал, зарождающиеся дефекты, многомерные признаки пространства, спектральная плотность мощности, состояние механизмов/ DOI: 10.31857/S0320791921050014.

21.05-01.233 Об особенностях использования явления акустоупругости при контроле напряженного состояния анизотропного материала технических объектов при отрицательных температурах. *Хлыбов А.А., Углов А.Л., Рябов Д.А. Дефектоскопия.* 2021, № 1, с. 23-32. Рус.

Рассмотрено влияние различного рода концентраторов напряжений на процессы накопления повреждений, зарождения и распространения трещин в образцах из стали Ст3 в условиях одноосного растяжения. Исследованные образцы имели центральное отверстие диаметром 5 мм или поперечный сварной шов. Результаты акустико-эмиссионной диагностики показали, что, несмотря на различную природу концентраторов, диаграммы нагружения, характер накопления повреждений и развитие магистральных трещин, количество зарегистрированных событий акустической эмиссии (АЭ) и активность их регистрации, динамика изменения весового содержания локационных импульсов (W_i) в энергетических кластерах нижнего, среднего и верхнего уровня была достаточно похожей, также как и значения этих параметров при разрушении образцов.

21.05-01.234 Кинетика процесса накопления повреждений и разрушения в зонах концентраторов при испытаниях образцов на разрыв. *Мазутов Н.А., Васильев И.Е., Чернов Д.В., Иванов В.И., Терентьев Е.В. Дефектоскопия.* 2021, № 1, с. 33-44. Рус.

Рассмотрено влияние различного рода концентраторов напряжений на процессы накопления повреждений, зарождения и распространения трещин в образцах из стали Ст3 в условиях одноосного растяжения. Исследованные образцы имели центральное отверстие диаметром 5 мм или поперечный сварной шов. Результаты акустико-эмиссионной диагностики показали, что, несмотря на различную природу концентраторов, диаграммы нагружения, характер накопления повреждений и развитие магистральных трещин, количество зарегистрированных событий акустической эмиссии (АЭ) и активность их регистрации, динамика изменения весового содержания локационных импульсов (W_i) в энергетических кластерах нижнего, среднего и верхнего уровня была достаточно похожей, также как и значения этих параметров при разрушении образцов.

21.05-01.235 Анализ параметров ультразвуковых сигналов при высокоскоростном контроле рельсов. *Марков А.А., Максимова Е.А. Дефектоскопия.* 2021, № 3, с. 3-16. Рус.

Приведены результаты исследований параметров ультразвуковых сигналов с увеличением скорости контроля рельсов. В качестве тестовых отражателей выбраны сигналы от болтовых отверстий рельсов. Показано, что ближайшие к рельсо-

вому стыку отверстия озвучиваются не полностью, и сигналы от них не могут быть использованы в качестве тестовых отражателей. Для полноценной оценки ухудшения качества неразрушающего контроля рельсов с увеличением скорости сканирования предложено использовать интегральный показатель анализируемого отражателя. Заметное уменьшение этого показателя при высоких скоростях требует принятия компромиссного решения при выборе между производительностью и качеством контроля рельсов. Предложенная методика может быть использована для оценки эффективности эксплуатируемых и вновь создаваемых дефектоскопических комплексов. Обоснована необходимость совершенствования способов озвучивания первых болтовых отверстий стыков и корректировки нормативных документов применительно к высокоскоростному контролю рельсов.

21.05-01.236 Контроль натяга колец подшипников поверхностными волнами с использованием эффекта акустопругости. *Безер С.А., Степанова Л.Н., Рыжова А.О., Бобров А.Л. Дефектоскопия.* 2021, № 4, с. 13-21. Рус.

Приведены результаты экспериментальных исследований метода неразрушающего контроля для оценки натяга колец подшипников на шейку оси с использованием эффекта акустопругости, основанного на измерении характеристик упругих поверхностных волн. Разработаны и изготовлены настроечные образцы натяга с разностью посадочных диаметров в диапазоне от 38 до 119 мкм с погрешностью не более 7 мкм. Выполнена аттестация гидравлического стенда для механического нагружения колец подшипников, имитирующего их прессовую посадку на ось с натягами до 46 мкм. Для поверхностных волн в стали ШХ15 экспериментально определены акустопругие коэффициенты $\alpha = (5,48 \pm 0,14) \text{ ГПа}^{-1}$ по задержке времени регистрации импульсов, многократно (2–5 раз) обогнувших кольцо. Оптимизирован корреляционный способ определения времени задержки волны в нагруженном кольце относительно ненагруженного по условию минимизации неопределенности, связанной с изменением формы импульса. Установлены основные причины погрешностей и неопределенностей измерения абсолютного времени распространения поверхностной волны: влияние отраженных от границ волн, кривизна поверхности, затухание. Проведены измерения натяга колец подшипников на настроечных образцах натяга с использованием эффекта акустопругости и выполнена оценка неопределенности измерения напряжений.

21.05-01.237 Применение адаптивного анизотропно-диффузного фильтра для повышения качества изображения отражателей при проведении ультразвукового неразрушающего контроля. *Базулин Е.Г. Дефектоскопия.* 2021, № 5, с. 3-12. Рус.

Для повышения скорости подготовки протокола ультразвуково-

вого контроля и уменьшения влияния человеческого фактора активно разрабатываются системы распознавания (классификации) отражателей на основе искусственных нейронных сетей. С целью эффективной работы изображения отражателей необходимо обработать с целью повышения отношения сигнал/шум изображения и его сегментации (кластеризации). Один из способов сегментации состоит в обработке изображения адаптивным анизотропным диффузным фильтром, который используется для обработки оптических изображений. В модельных экспериментах продемонстрирована эффективность применения данного текстурного фильтра для сегментации изображений отражателей, восстановленных по эхосигналам, измеренным с помощью антенных решеток.

21.05-01.238 Обработка TOFD-эхосигналов с целью достижения сверхразрешения. *Базулин Е.Г. Дефектоскопия.* 2021, № 5, с. 13-21. Рус.

Предложено использовать метод максимальной энтропии и метод построения AR-модели спектра TOFD-эхосигналов совместно с методом расщепления спектров для повышения разрешающей способности и, следовательно, его информативности. Модельные эксперименты показали эффективность предложенного подхода. В результате, разрешающая способность TOFD-эхосигналов повысилась не менее, чем в два раза, а уровень шума уменьшился на 6 дБ. Более высокая разрешающая способность TOFD-эхосигналов позволяет анализировать фазы эхосигналов и делать заключения о типе отражателя.

См. также **21.05-01.34, 21.05-01.38, 21.05-01.39, 21.05-01.40, 21.05-01.41, 21.05-01.42, 21.05-01.43, 21.05-01.44, 21.05-01.45, 21.05-01.46, 21.05-01.47, 21.05-01.48, 21.05-01.49, 21.05-01.50, 21.05-01.51, 21.05-01.52, 21.05-01.53, 21.05-01.77, 21.05-01.119, 21.05-01.137, 21.05-01.208, 21.05-01.209, 21.05-01.210, 21.05-01.211, 21.05-01.212, 21.05-01.213, 21.05-01.214, 21.05-01.215, 21.05-01.216, 21.05-01.217, 21.05-01.218**

Акустические методы обработки материалов и изделий

См. **21.05-01.32**

Акустические технологии в промышленности

См. **21.05-01.89, 21.05-01.133, 21.05-01.138, 21.05-01.206**

Акустический мониторинг технологических процессов

См. **21.05-01.89**

Акустика в медицинской практике

Ультразвук в медицинской диагностике. Сонография (УЗИ)

21.05-01.239 Влияние адгезии на измерение вязкоупругих характеристик цельной крови резонансно-акустическим методом. *Демкин В.П., Мельничук С.В., Хоряк М.Н., Удудт В.В., Руденко В.В., Тютрин И.И. Известия вузов. Физика.* 2020. 63, № 12, с. 59-63. Рус.

Исследовано влияние адгезии крови на амплитудно-частотные характеристики пьезоэлектрического датчика в методе низкочастотной пьезотромбоэластографии. На поверхности иглы-резонатора, погруженной в кровь, в результате адгезии может накапливаться слой форменных элементов крови, который изменяет ее конфигурацию и массу и, как следствие, ее амплитудно-частотные характеристики. Экспериментально показано, что в процессе свертывания крови происходит уменьшение собственной частоты колебаний иглы-резонатора прямо пропорциональное увеличению массы адгезированной

крови. Для подтверждения этой закономерности нами проведен численный эксперимент на 3D-математической модели пьезоэлектрического датчика, используемого в пьезотромбоэластографе АРП-01М «Меднорд», с применением программного пакета COMSOL Multiphysics® 4.2 и метода конечных элементов. Рассчитаны изменение собственной частоты колебаний иглы-резонатора от массы адгезированной крови, а также их зависимость от времени в процессе коагуляции крови. Показано, что нарастание массы адгезированной крови в процессе ее коагуляции наблюдается, начиная с 3-й минуты, и достигает максимума 0.42 мг к 15-й минуте, что приводит к заметному сдвигу резонансной частоты пьезоэлектрического датчика в область меньших частот.

Ультразвук в лабораторных медицинских исследованиях

См. **21.05-01.239**

Физика

21.05-01.240 Траектории плоского движения тела вращения в среде. *Осипенко К.Ю.* *Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 5, с. 127-140. Рус.

Получено аналитическое решение нелинейной системы уравнений, описывающей плоское движение тела вращения в безграничной среде. Считалось, что на боковой поверхности тела трение отсутствует, а нормальные напряжения определяются по методу локального взаимодействия и задаются по закону сопротивления Ньютона в виде инерционного давления, пропорционального квадрату нормальной составляющей скорости. Исследованы возможные траектории движения тела и получены условия устойчивости прямолинейного движения.

21.05-01.241 Установившиеся движения симметричного равногранного тетраэдра в центральном поле сил. *Буров А.А., Нигонова Е.А.* *Известия российской академии наук. Механика твердого тела.* 2021, № 5, с. 152-164. Рус.

Изучаются существование и устойчивость равновесий в задаче о движении вокруг неподвижной точки твердого тела в форме равногранного тетраэдра в центральном ньютоновском поле сил. Выясняется связь этих равновесий с изученными ранее равновесиями правильного тетраэдра, представляющими собой частный случай перманентных вращений. Работа инспирирована публикациями А.В. Карапетяна с соавторами, в которых предложен оригинальный подход, позволяющий эффективно учитывать симметрии при изучении установившихся движений в задачах динамики твердого тела с неподвижной точкой.

21.05-01.242 Полностью стеклянные одномодовые микроструктурированные волоконные световоды с большим полем моды. *Денисов А.Н., Семёнов С.Л.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 12-15. Рус.

Предложен новый дизайн полностью стеклянных микроструктурированных волоконных световодов с большой сердцевинной. Проведен численный анализ свойств этих световодов с использованием метода конечных элементов, рассчитаны потери на вытекание фундаментальных и высших мод в спектральном диапазоне от 0.8 до 1.4 мкм. Показано, что предложенный дизайн позволяет получить одномодовый режим в спектральном диапазоне от 0.87 до 1.11 мкм для прямых и изогнутых световодов при радиусе изгиба 0.25 м.

21.05-01.243 Изменение ветрового режима на территории России и аварийность воздушных линий электропередач. *Клименко В.В., Кондратьева О.Е., Терешин А.Г., Федотова Е.В., Локтионов О.А., Воронкова Е.М.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 57-64. Рус.

Рассмотрены изменения ветрового режима на территории России и выполнен анализ влияния этих изменений на аварийность воздушных линий электропередач (ВЛ). Опираясь на актуальные данные метеорологических наблюдений Росгидромета и статистику ПАО «Россети», авторы провели расчет наблюдаемых изменений экстремальных скоростей ветра в течение последних сорока лет и оценили их связь с числом аварий ВЛ для Кубани, Башкирии и Забайкалья. Установлено, что климатические изменения на территории России в последние десятилетия привели к снижению максимальных скоростей ветра в исследуемых регионах, что способствовало снижению аварийности ВЛ за счет ветрового воздействия. Однако анализ динамики этих изменений с привлечением данных климатических моделей СМIP5 указывает на недавнее изменение этой тенденции в ряде регионов, что может привести к увеличению числа аварий ВЛ. Необходимы дальнейшие исследования изменений ветрового режима на территории энергосистем России для обеспечения их надежного функционирования в условиях климатических изменений.

21.05-01.244 Гетерогенный фотосенсибилизатор на основе оксида цинка для фотоочистки водных сред. *Никитаев Ю.А., Кузнецов Г.П., Ассовский И.Г., Бер-*

лин А.А. *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 497, № 1, с. 69-72. Рус.

Предложен новый композиционный материал на основе оксида цинка, фотосенсибилизированного к дневному свету органическим красителем фталоцианиновой группы. Экспериментально доказана фотоактивность полученного материала и эффективность его применения для фотоочистки водных сред от органических загрязнений.

21.05-01.245 Дисковые взрывомагнитные генераторы нового поколения. *Дудай П.В., Зименков А.А., Ивановский А.В., Климушкин К.Н., Краев А.И., Куделькин В.Б., Мамышев В.И., Полошко С.М., Цибуков З.С., Шаповалов Е.В.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 7-10. Рус.

Одним из примеров реализации принципа магнитной кумуляции явилось создание в 1980-х годах под руководством В.К. Чернышева уникальных устройств — дисковых взрывомагнитных генераторов, генерирующих рекордные токи до 300 МА. Попытки реализации их аналогов за рубежом до сих пор не увенчались успехом. В работе представлены результаты исследований, завершившихся созданием нового поколения дисковых взрывомагнитных генераторов малого класса с эффективностью преобразования энергии взрывчатого вещества в энергию магнитного поля, более чем в два раза превышающую ранее достигнутый уровень.

21.05-01.246 Обобщенное приближение Максвелла—Гарнетта для текстурированных матричных композитов с включениями в оболочке. *Колесников В.И., Лавров И.В., Бардушкин В.В., Сычев А.П., Яковлев В.В.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 11-16. Рус.

Предложено обобщение приближения Максвелла—Гарнетта для текстурированного матричного композита, состоящего из эллипсоидальных включений с оболочкой. С помощью указанного обобщенного приближения получено выражение для тензора эффективной диэлектрической проницаемости рассматриваемой среды. Показано, что в случае матричного композита со сферическими включениями в оболочке данное выражение совпадает с формулой, полученной в обобщенном приближении эффективного поля с выбором матрицы в качестве среды сравнения.

21.05-01.247 О лазере с перестраиваемой частотой на тонких полупроводниковых квантовых кольцах. *Мандель А.М., Ошурко В.Б., Першин С.М., Карпова Е.Е., Артёмова Д.Г.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 17-21. Рус.

Установлено, что тонкие полупроводниковые квантовые кольца во внешнем магнитном поле могут обладать уникальными селекционными свойствами: подбирая тип гетероструктуры и геометрические параметры кольца, можно свести его энергетический спектр к единственному одноэлектронному состоянию с заранее определенной энергией связи и орбитальным и спиновым моментом. Во внешнем магнитном поле можно дискретно менять эту энергию связи, изменяя величину поля. Обсуждается идея создания эффективного лазера с активной средой на тонких полупроводниковых квантовых кольцах с дискретно перестраиваемой частотой.

21.05-01.248 Применение модели кинетического типа для изучения пространственного распространения COVID-19. *Аристов В.В., Строганов А.В., Ястребов А.Д.* *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2021. 498, № 1, с. 27-32. Рус.

Предлагается одномерная модель на основе уравнения кинетического типа для изучения динамической плотности распределения носителей вируса во времени и пространстве с учетом их миграции из выделенного центра. Данная модель является новой и принципиально отличается от известных моделей типа диффузия-реакции. Строится аналитическое решение; для получения серии расчетов применяются и численные методы.

Производится сравнение модельных и реальных данных в Италии, России и Чили. Помимо скорости заражения, вводится в рассмотрение «скорость выздоровления». При прохождении волны выздоровления по территории с большей частью населения страны делается вывод о начале глобального выздоровления, что соответствует реальным данным. Предсказания оказываются точными и для второй волны пандемии в России. Ожидается, что модель способна адекватно описать не только развитие COVID-19, но и последующих эпидемий.

21.05-01.249 Блочные элементы в граничных задачах для систем дифференциальных уравнений механики и физики в неклассических областях. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 498, № 1, с. 33-39. Рус.

Развивается новый, позволяющий значительно расширить класс граничных задач для линейных систем дифференциальных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами в неклассических областях, которые можно точно решать методом блочного элемента. Разработанный в методе блочного элемента новый, координатный, дополняющий интегродифференциальный, метод удовлетворения граничных условий завершает построение точных решений исходных граничных задач, разложенных по блочным элементам. Подход охватывает многие системы уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами механики деформируемого твердого тела, гидромеханики, электромагнитных полей и других наук, для которых можно строить точные решения граничных задач в неклассических областях. Приводятся примеры реализации подхода. Ключевые слова: метод блочного элемента, граничные задачи, системы дифференциальных уравнений, термоупругость, преобразование Галёркина, уравнения Ламе.

21.05-01.250 Производящая функция компонент тензора Эйлера—Пуансо. Бузов А.А., Никонова Е.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 498, № 1, с. 53-56. Рус.

Вводятся функции, позволяющие вычислять компоненты тензора Эйлера—Пуансо с помощью дифференцирования. Роль этих функций аналогична роли производящих функций в математической статистике, позволяющих вычислять статистические моменты любого порядка. Обсуждаются свойства этих функций.

21.05-01.251 Электронный парамагнитный резонанс и модифицированное уравнение Ландау—Лифшица в сильно коррелированных электронных системах с квантовыми флуктуациями магнитного момента. Демичев С.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 3-7. Рус.

Предложено модифицированное квантовыми флуктуациями магнитного момента уравнение Ландау—Лифшица, на основании которого предсказан ряд новых эффектов в электронном парамагнитном резонансе в сильно коррелированных электронных системах, в том числе увеличение интегральной интенсивности и появление универсальных соотношений, связывающие вклад в ширину линии, сдвиг поля резонанса и интегральную интенсивность. Ожидается, что величина квантовых поправок будет зависеть от единственного безразмерного параметра $\sim 2\Delta M_z^2 / \mu_B M_0$, где ΔM_z и M_0 — амплитуда флуктуаций и среднее значение магнитного момента в расчете на магнитный ион соответственно.

21.05-01.252 Определение положения уровней энергии радикалов в запрещенной зоне нанокристаллических оксидов титана, молибдена, ванадия с помощью ЭПР-спектроскопии. Кытина Е.В., Пархоменко Е.Р., Назарова Е.А., Константинова Е.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 8-11. Рус.

Предложен новый метод построения зонных диаграмм на основе данных ЭПР-спектроскопии, который был применен для исследования легированных азотом нанокристаллических оксидов титана, молибдена, ванадия (TiO_2 , MoO_3 , V_2O_5) с удельной площадью поверхности порядка $100 \text{ м}^2/\text{г}$ и средним размером наночастиц $10\text{--}15 \text{ нм}$. В TiO_2 обнаружены N-радикалы азо-

та и Ti^{3+} -центры, в MoO_3 зарегистрированы N-, NO-центры и ионы Mo^{5+} , в V_2O_5 — V^{4+} -центры. Концентрации дефектов составили $6.5 \times 10^{17} \text{ г}^{-1}$, $9.8 \times 10^{16} \text{ г}^{-1}$, $2 \times 10^{17} \text{ г}^{-1}$ соответственно. С помощью метода ЭПР определено положение уровней энергии радикалов в запрещенной зоне. Уникальные образцы TiO_2 , имеющие высокую концентрацию радикалов и скорость фотокатализа, могут быть использованы для создания энергоэффективных фотокаталитических устройств, работающих в видимом диапазоне спектра.

21.05-01.253 Влияние кристаллографически нетипичного пентагонального наноструктурированного покрытия на лимитирующую стадию процесса низкотемпературного транспорта водорода через Pd—Cu мембраны. Петриев И.С., Пушанкина П.Д., Луценко И.С., Барышев М.Г. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 17-21. Рус.

Продемонстрирован новый подход к ускорению поверхностных процессов транспорта водорода через Pd—40%Cu мембраны, путем нанесения развитого каталитического покрытия, состоящего из наночастиц с совершенно новой кристаллографически нетипичной пентагональной структурой. Благодаря наличию у таких частиц высокоиндексных граней с большим количеством реакционноспособных недокоординированных атомов значительно увеличивается количество локализованных потенциально более активных областей поверхности мембраны. Такая модификация приводит к сдвигу лимитирующей стадии, существенно ускоряя рекомбинативную десорбцию на поверхности, и увеличению влияния стадии диффузии. Это улучшает газотранспортные характеристики мембраны, позволяя достичь проницаемости до $8.9 \text{ ммоль с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ в низкотемпературном режиме (до 100°C). Полученное значение превышает до 6 раз соответствующее значение для гладких мембран и до 2 раз для мембран, модифицированных классической палладиевой чернью.

21.05-01.254 Определение эффективной магнитной проницаемости нанокompозитных сред. Ринкевич А.Б., Перов Д.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 22-24. Рус.

Рассматривается метод определения эффективной магнитной проницаемости для композитных сред, содержащих магнитные частицы в виде эллипсоидов вращения общего вида. Приведены примеры расчетов данной величины для ансамблей произвольно ориентированных частиц в зависимости от их формы и объемной доли в нанокompозитах.

21.05-01.255 Текстурированные ленты-подложки из тройных медно-никелевых сплавов с добавками тантала и вольфрама для эпитаксиального нанесения многослойных композиций. Счастливцев В.М., Хлебникова Ю.В., Суаридзе Т.Р., Егорова Л.Ю., Ахшеницев Ю.Н. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 25-29. Рус.

Рассмотрен вопрос о возможности получения совершенной биаксиальной кубической текстуры в тройных сплавах на медно-никелевой основе с добавками тантала или вольфрама, с целью использования тонких деформированных прокаткой и отожженных лент из этих сплавов в качестве эпитаксиальных подложек. Получены опытные образцы текстурированных лент. Из ряда вариантов рекристаллизационного отжига найден оптимальный, позволяющий реализовать в ленте толщиной 100 мкм совершенную кубическую текстуру с долей двойниковых зерен менее 3%. Созданные подложки из тройных сплавов на медно-никелевой основе могут быть предложены как альтернатива применяемому сегодня в технологии производства ленточных подложек сплаву Ni—4.8 ат. %W.

21.05-01.256 Фрактальные свойства блочных элементов и новый универсальный метод моделирования. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 30-35. Рус.

Исследования авторов последнего времени по разработке теории и приложений блочных элементов в задачах механики и физики неожиданно привели к возможности трактовки еще одной особенности этих механико-математических объектов. Сле-

дую идею Бенуа Мандельброта о фрактальности, т.е. самоподобии, в природе, проведено исследование блочных элементов как объектов, обладающих фрактальными свойствами. Показано, что известные природные явления, процессы и объекты, описываемые граничными задачами для дифференциальных уравнений в частных производных и системами таких уравнений, имеют в качестве решений самоподобные упакованные блочные элементы. Более того, выделяется особая роль упакованных блочных элементов, порождаемых граничными задачами для простейших волновых уравнений, или уравнений Гельмгольца. В множестве упакованных блочных элементов, для граничных задач природных процессов, они являются объектами дискретного топологического пространства, обладают максимальной топологией, представляя своими объединениями все остальные блочные элементы множества. В то же время волновое уравнение или уравнение Гельмгольца являются аналогами уравнения Шрёдингера, лежащего в основе квантовой механики. Уравнение Шрёдингера описывает состояния элементарных частиц квантовой механики. В связи с этим складывается ситуация, в которой первоосновой как квантового мира, так и оговоренных природных процессов являются самоподобные названные уравнения, выполняющие свои функции в соответствующих масштабах. Упакованные блочные элементы, порождаемые граничными задачами для таких же уравнений, как и для уравнения Шрёдингера, выполняют свои функции в плоской среде, а состояния элементарных частиц описываются подобными уравнениями в квантовой механике.

21.05-01.257 Точное плоскотоволновое решение уравнения теории гравитации с массивным гравитоном. Байдерин А.А., Денисова И.П., Ростовский В.С. *Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 1, с. 10-15. Рус.

Рассмотрена теория гравитации с массивным гравитоном, которая была предложена Виссером. Найдено точное решение этой теории, когда источником гравитационного поля является плоская скалярная волна. Методом Гамильтона—Якоби получены законы движения массивных и безмассовых частиц в этом гравитационном поле.

21.05-01.258 К вопросу о различии между искусственным и естественным интеллектом. Намиот В.А. *Биофизика.* 2020. 65, № 1, с. 202-205. Рус.

21.05-01.259 Ультразвуковое расщепление ДНК: анализ структурно-динамических характеристик регуляторных участков генома и ошибок секвенирования. Ильичева И.А., Ходыков М.В., Панченко Л.А., Полозов Р.В., Нечипуренко Ю.Д. *Биофизика.* 2020. 65, № 3, с. 504-511. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302920030096.

21.05-01.260 Модель генерации джетов в космической плазме. Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Беляев В.С., Загреев В.В., Матафонов А.П. *Геомагнетизм и аэронаука.* 2021. 61, № 1, с. 16-19. Рус.

В МГД-приближении создана новая аналитическая модель генерации аксиально симметричных джетов (направленных струй) в бездиссипативной, неравновесно стратифицированной плазме. В основу модели положено предположение о конвективной неустойчивости Шварцшильда в плазме и условие вмерзности силовых линий магнитного поля в вещество. Показано, что в такой плазме генерируются джеты с полоидальными полями скорости и магнитного поля. Наряду с исследованием динамики поля скоростей и магнитного поля исследована динамика и структура возникающего тороидального электрического тока.

21.05-01.261 Инверсии геомагнитного поля: ограничение на интенсивность конвекции в ядре Земли? Решетняк М.Ю. *Геомагнетизм и аэронаука.* 2021. 61, № 2, с. 267-272. Рус.

Современные модели геодинамики позволяют генерировать магнитное поле как без инверсий, так и с частыми инверсиями. Переход от одного режима к другому связан с относительно небольшим изменением интенсивности источников генерации. Из этого, обычно, делается вывод, что система геодинамики находится вблизи такого перехода, что вообще говоря, требует более

детального обоснования. В работе на основе современных моделей геодинамики приведен анализ того, к каким еще изменениям в поведении геомагнитного поля приводит подобный переход. В частности, насколько нарушается дипольность магнитного поля, изменяется его напряженность, каково соотношение времени затухания и роста диполя во время инверсии.

21.05-01.262 Двумерная распределенная обратная связь как метод генерации мощного когерентного излучения от пространственно-развитых релятивистских электронных пучков. Гинзбург Н.С., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Заславский В.Ю., Аржанников А.В., Синицкий С.Л. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика.* 2020. 28, № 6, с. 575-632. Рус.

Целью представленных в обзоре исследований является анализ нового механизма обратной связи — двумерной распределенной обратной связи, включая возможность использования указанного механизма для генерации мощного пространственно-когерентного излучения. Двумерная распределенная обратная связь реализуется с помощью двумерных брэгговских структур, представляющих собой планарные или коаксиальные волноводы с двумернопериодической гофрировкой боковых стенок, которые можно рассматривать как аналог двумерных фотонных кристаллов. Методы. Теоретический анализ двумерных брэгговских структур и мощных релятивистских мазеров на их основе проведен в рамках метода связанных волн с использованием геометро-оптического и квазиоптического приближений. Высокая селективность двумерных брэгговских структур подтверждена трехмерным моделированием и «холодными» электродинамическими тестами. Результаты. Моделирование динамики генераторов с двумерной распределенной обратной связью показывает, что возникающие в двумерных брэгговских структурах поперечные (по отношению к движению электронов) потоки электромагнитной энергии приводят к синхронизации излучения различных частей широких электронных потоков и установлению устойчивого режима одноодовой генерации при поперечных размерах систем, достигающих 10^2 — 10^3 длин волн. Работоспособность нового механизма обратной связи продемонстрирована экспериментально в мазерах на свободных электронах планарной и коаксиальной геометрии, реализованных в 4-мм и 8-мм диапазонах, где при сверхразмерности пространства взаимодействия до 50 длин волн получен устойчивый режим узкополосной генерации с рекордным уровнем выходной мощности до 100 МВт. Заключение. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что двумерная распределенная обратная связь является эффективным методом получения когерентного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов с уровнем мощности порядка 10^8 — 10^{10} Вт от релятивистских электронных пучков ленточной и трубчатой конфигурации, формируемых существующими сильнотоковыми ускорителями. С практической точки зрения не менее привлекательно использование двумерной распределенной обратной связи для синхронизации излучения лазерных активных сред, в частности, полупроводниковых гетероструктур.

21.05-01.263 Структурно-фазовое состояние и микротвердость прекурсора из экваториальной порошковой смеси W-Ta-Mo-Nb-Zr-Cr-Ti после энергонапряженной механической активации. Дитенберг И.А., Смирнов И.В., Осипов Д.А., Корчагин М.А. *Физическая мезомеханика.* 2021. 24, № 4, с. 90-100. Рус.

Проведено исследование влияния продолжительности энергонапряженной механической активации на особенности структурно-фазового состояния и уровень микротвердости многокомпонентной порошковой смеси W-Ta-Mo-Nb-Zr-Cr-Ti экваториального состава. Обнаружено, что при такой обработке в получаемом прекурсором наблюдаются фрагментация частиц микронных размеров и увеличение степени консолидации крупных конгломератов на фоне почти не меняющейся морфологии последних. Установлено, что, помимо основной ОЦК-фазы с наиболее близким к экваториальному составом $W_{13-16}Ta_{14-17}Mo_{11-15}Nb_{11-16}Zr_{11-15}Cr_{13-18}Ti_{14-16}$, в прекурсор происходит формирование вторичных ОЦК-фаз на основе Ta и W. Перемешивание этих фаз в процессе механической активации способствует постепенному переходу прекурсора в

однофазное состояние в виде основной ОЦК-фазы. Показано, что активация и интенсификация таких процессов в условиях энергонапряженной механической активации происходит при существенно меньшей продолжительности по сравнению с механической активацией меньшей напряженности. Предполагается, что формирование состояния, близкого к однофазному, наряду с увеличением степени консолидации порошковой смеси обеспечивает рост значений микротвердости получаемого прекурсора на фоне снижения среднестатистического отклонения ΔH_V . Ключевые слова: смесь порошков, многокомпонентная система, тугоплавкие металлы, механическая активация, структурно-фазовое состояние, микротвердость.

21.05-01.264 Широтное распределение параметров внутренних волн в атмосфере по флуктуациям амплитуды радиозатменных сигналов. Кан В., Горбунов М.Е., Федорова О.В., Софиева В.Ф. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2020. 56, № 6, с. 647-659. Рус.

Проведена апробация методики восстановления глобального распределения статистических параметров внутренних гравитационных волн (ВГВ) в атмосфере по данным измерений флуктуаций амплитуды радиосигнала в спутниковых радио-

тменных наблюдениях. Ранее для выбранной модели пространственного спектра ВГВ была получена его связь со спектрами флуктуаций амплитуды, разработан алгоритм восстановления параметров модели и оценены ошибки восстановления. Восстанавливаемыми параметрами вертикального спектра ВГВ являются внешний масштаб, задающий в крупномасштабной области переход от ненасыщенного режима волн к насыщенному, и структурная характеристика, определяющая спектральную амплитуду волн в режиме насыщения. По этим параметрам вычисляются дисперсия флуктуаций температуры и потенциальная энергия волн. В данной статье приведено высотное распределение параметров ВГВ в стратосфере по данным измерений эксперимента COSMIC за 2011 г. Отмечены характерные особенности этих распределений, проведено сравнение результатов с данными других измерений.

21.05-01.265 Локализация источников двух типов "континуум" излучения. Могилевский М.М., Чугунин Д.В., Чернышов А.А., Романцова Т.В., Моисеев И.Л., Кумамото А., Касахара Й., Тсучия Ф. *Письма в ЖЭТФ*. 2021. 114, № 1, с. 18-23. Рус.

См. также **21.05-01.2**, **21.05-01.3**, **21.05-01.134**

Астрономия

21.05-01.266 Черные дыры и нейтронные звезды в осциллирующей Вселенной. Горькавый Н.Н., Тюльбашев С.А. *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 285-305. Рус.

В последние годы вновь активно рассматриваются гипотезы о возможной цикличности Вселенной. В этих космологических теориях Вселенная, вместо «одноразового» бесконечного расширения, периодически сжимается до какого-то объема, а потом снова испытывает Большой Взрыв. Одной из проблем для циклической Вселенной является ее совместимость с обширной популяцией неразрушимых черных дыр, накапливающихся из цикла в цикл. В статье рассматривается простая итерационная модель эволюции черных дыр в циклической Вселенной, не зависящая от конкретных космологических теорий. Модель имеет два свободных параметра, определяющих итерационное уменьшение числа черных дыр и увеличение их индивидуальной массы. Показано, что данная модель при широких вариациях параметров объясняет наблюдаемое количество сверхмассивных черных дыр в центрах галактик, а также соотношения между различными классами черных дыр. Механизм накопления реликтовых черных дыр при многократных пульсациях Вселенной может отвечать за популяцию черных дыр, обнаруженную при наблюдениях LIGO и, вероятно, отвечающую за феномен темной материи. Количество черных дыр промежуточных масс соответствует числу шаровых скоплений и карликовых галактик-спутников. Эти результаты служат доводом в пользу моделей осциллирующей Вселенной, и одновременно накладывают на них существенные требования. Модели пульсирующей Вселенной должны характеризоваться высоким уровнем реликтового гравитационного излучения, порождаемого в момент максимальных сжатий Вселенной и массовых слияний черных дыр, а также решать проблему существования самой крупной черной дыры, которая образуется в ходе этого слияния. Высказана гипотеза, что часть нейтронных звезд может сохраниться с прошлых циклов Вселенной и внести вклад в темную материю. Эти реликтовые нейтронные звезды будут иметь совокупность признаков, по которым их можно отличить от нейтронных звезд, родившихся в текущем цикле рождения Вселенной. Обсуждаются наблюдательные признаки реликтовых нейтронных звезд и возможность их поиска в разных диапазонах длин волн. От редакции. Статья вызвала противоречивые оценки в экспертном сообществе. Тем не менее было принято решение опубликовать эту статью в дискуссионном порядке.

21.05-01.267 Ориентация спинов плоских галактик относительно филаментов крупномасштабной структуры Вселенной. Антипова А.В., Макаров Д.И., Бизяев Д.В. *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 306-

313. Рус.

Мы представляем результаты анализа ориентации моментов вращения галактик из пересмотренного каталога плоских галактик (Revised Flat Galaxy Catalog) относительно филаментов крупномасштабной структуры Вселенной. Этот каталог содержит галактики, видимые под большими углами к лучу зрения. Благодаря тому, что галактики видны практически с ребра, направление момента вращения галактик определяется с высокой точностью. Мы находим очень слабое параллельное выравнивание спинов галактик вдоль оси филаментов. Мы проанализировали зависимость выравнивания от яркости галактик, сплюснутости, их расстояния от оси филамента и красного смещения. Было найдено, что наиболее выраженное параллельное выравнивание (на уровне 2.4σ) показывают близкие ($z < 0.03$) и тонкие ($a/b > 10$) галактики.

21.05-01.268 TRGB-расстояния до сейфертовских галактик NGC 1068, NGC 3227, NGC 4051 и NGC 4151. Тихонов Н.А., Галазутдинова О.А. *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 314-327. Рус.

На основе архивных снимков космического телескопа им. Хаббла проведена звездная фотометрия четырех классических сейфертовских галактик: NGC 1068, NGC 3227, NGC 4051 и NGC 4151. На снимках выделены красные гиганты и TRGB-методом впервые измерены точные расстояния до этих галактик. Полученные расстояния 11.14 ± 0.54 , 15.33 ± 0.80 , 16.48 ± 0.69 и 14.20 ± 0.88 Мпк дают возможность более точно оценить энергию излучения активных ядер этих галактик. В группе NGC 1068 определены расстояния до двух основных галактик группы: NGC 1068 и NGC 1073 (11.14 ± 0.54 и 11.28 ± 0.70 Мпк), что позволяет оценить расстояние до этой малой группы галактик как $D = 11.2$ Мпк. Показано, что галактика NGC 1087 находится на расстоянии $D = 17.79 \pm 0.83$ Мпк и в группу NGC 1068 не входит.

21.05-01.269 О кинематических группах звезд в Плеядах. Данилов В.М. *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 328-346. Рус.

Выполнен анализ оценок параметров широких двойных звезд в рассеянном звездном скоплении Плеяды, полученных в работах 2020 г. по данным Gaia DR2. Для этого использовалась модель гравитирующей системы, состоящей из двух звезд, связанных в суммарном поле сил этих звезд, и однородного гравитирующего шара, имитирующего звездное скопление. Показано существование двух «приливных» расстояний $r_{1,2}$ между компонентами двойных звезд для ее расстояний от центра шара-скопления, больших некоторого критического. Меньшее из «приливных» расстояний $r_{1,2}$ убывает с увеличением рассто-

яния от двойных звезд до центра шара-скопления, так как сила притяжения к центру однородного шара-скопления в его пределах возрастает с удалением от его центра. Большее из «приливных» расстояний $r_{1,2}$ обусловлено разницей величин силового поля скопления в точках расположения звезд-компонентов двойных звезд и возрастает с увеличением расстояния от двойных звезд до центра скопления, достигая значений в несколько парсек на периферии шара-скопления. Записано и исследовано условие гравитационной связанности широких двойных звезд с равными нулю относительными скоростями их компонентов в общем силовом поле движущейся двойной звезды и шара-скопления. Показано, что распад широких двойных звезд может происходить в основном в направлении, перпендикулярном направлению на центр скопления. Это замедляет распад широких двойных звезд, наблюдаемых в ближайших рассеянных скоплениях. В случае массы шара-скопления, равной общей массе звезд-членов скопления Плеяды с звездными величинами $m_G \leq 15^m$, получены оценки времени распада τd и формирования широких двойных звезд при характерных для Плеяды значениях параметров колебаний регулярного поля скопления (при $r_{1,2} \approx 0.7$ пк величины τd убывают от 1.25 до 0.45 млн. лет при увеличении расстояний от двойных звезд до центра шара-скопления от 0.34 до 0.45 пк). Оценки «приливных» расстояний $r_{1,2}$ между компонентами двойных звезд в модели неоднородного скопления также показывают существование двух значений $r_{1,2}$ на периферии скопления для расстояний от двойных звезд до центра скопления, больших некоторого критического. Показано, что изменения регулярного силового поля в ядре сжимающегося скопления активнее разрушают широкие двойные звезды, чем их сближения с группами, состоящими из нескольких звезд. Получены оценки расстояний от кинематических групп звезд до центра скопления в Плеядах. Состоящие из трех звезд кинематические группы расположены в основном на расстояниях $r \approx 1.5-2.4$ пк и $r \approx 3.1-6.7$ пк от центра скопления. Кинематические группы из четырех звезд в Плеядах расположены вблизи расстояний $r \approx 2$ пк и $r \approx 4$ пк от центра скопления. Обсуждаются возможные механизмы формирования таких групп в Плеядах.

21.05-01.270 О "социальности" нескольких белых гипергигантов. *Ченцов Е.Л.* *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 347-353. Рус.

Позиционно-кинематические параметры гипергигантов HD 168607 B8.5 Ia-0, HD 168625 B5.0 Ia-0, Schulte 12 B4.0 Ia-0 и 6 Cas A A2.5 Ia-0, входящих в OB-ассоциацию, не свидетельствуют о том, что они выброшены из мест их формирования в молекулярных облаках, а гипергигант поля HD 183143 B7 Ia-0, расположенный в межзвездном пространстве, не показывает аномально высокой скорости относительно звездного и газового окружения. Приведено два примера уточнения расстояния до звезд по профилям межзвездных линий в их спектрах.

21.05-01.271 HD 52721 как квадрупольная система. *Оболенцева М.А., Дьяченко В.В., Погодин М.А., Ховричев М.Ю., Павловский С.Е., Валегга Ю.Ю., Бескакетов А.С., Митрофанова А.А., Максимов А.Ф.* *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 354-358. Рус.

Представлены результаты исследования кратной системы HD 52721 методом спекл-интерферометрии в 2019–2020 гг. на 6-м телескопе САО РАН. Ранее HD 52721 была известна как тройная ($6.93 (B2V + B2V; P=1.6101570^d) + 7.88; 0.65''$). В нашей работе система разрешена как спеклинтерферометрическая тройная, таким образом общая кратность системы увеличена до четырех компонентов ($6.80 (B2V+B2V; 1.6101570^d)+8.95 (B9V+B9V, 0.03''); 0.64''$). Нами использованы опорнозависимый и не зависящий от опоры метод измерения позиционных параметров и разностей блеска между компонентами. Полученные измерения разностей блеска хорошо согласуются с наблюдаемой фотометрической кривой затменной пары.

21.05-01.272 Магнитное поле и химический состав AX CVn (HD 110066). *Бычков В.Д., Бычкова Л.В., Мадей Ю., Валявин Г.Г., Бурлакова Т.Е., Аитов В.Н., Галазутдинов Г.А., Граужанина А.О., Цымбал В.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 359-365. Рус.

В рамках программы исследования магнитной переменности

долгопериодических магнитных звезд мы провели магнитный мониторинг Ар-звезды HD 110066 (AX CVn), предполагаемый период переменности которой оценивался в 13.4 года. На основании наших измерений магнитного поля, выполненных на 1-м телескопе САО РАН, и литературных данных мы предположили, что наиболее вероятный период этой звезды $P=6.4769 \pm 0.0011$ дня, а также мы оценили параметры модели наклонного ротатора, описывающей магнитную переменность HD 110066. Для определения химического состава звезды с помощью волоконного спектрометра БТА САО РАН мы получили спектр высокого разрешения ($R \approx 7000$). Оценки химического состава полностью совпали с оценками по спектру, полученному с аналогичным разрешением на спектрометре ESPaDOnS (CFHT, Mauna Kea, Hawaii).

21.05-01.273 Особенности формирования магнитных звезд на ранних стадиях эволюции. *Глаголевский Ю.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 366-379. Рус.

Обсуждаются результаты работ, посвященных изучению ранних стадий эволюции магнитных и немагнитных химически peculiарных звезд. За основу принята реликтовая гипотеза формирования магнитных звезд. Ключевые слова: звезды, магнитное поле—звезды, химически peculiарные—звезды.

21.05-01.274 Сканирующий интерферометр Фабри—Перо на 6-м телескопе САО РАН. *Моисеев А.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2021. 76, № 3, с. 380-406. Рус.

Сканирующий интерферометр Фабри—Перо (ИФП) — старейший из методов оптической панорамной (3D) спектроскопии. Он до сих пор не потерял актуальности благодаря возможности обеспечить высокое спектральное разрешение в большом поле зрения. В данной работе рассматривается история применения этого метода для исследования протяженных объектов (туманностей и галактик). Обсуждаются методики обработки и анализа данных. Основное внимание уделяется реализации наблюдений со сканирующим ИФП на 6-м телескопе САО РАН. В настоящее время он применяется здесь в составе многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2. Выполнен краткий обзор результатов исследования различных галактических и внегалактических объектов с помощью сканирующего ИФП на 6-м телескопе: областей звездообразования и молодых звездных объектов, спиральных, кольцевых, карликовых и взаимодействующих галактик, газовых подсистем, связанных с конусами ионизации активных галактических ядер, галактическими ветрами и т.п. Обсуждаются дальнейшие перспективы исследований с помощью сканирующего ИФП в САО РАН. Ключевые слова: техника, интерферометрия—техника, обработка изображений—техника, спектроскопия изображений—инструменты, интерферометры.

21.05-01.275 Гибридная система ориентации для орбитальных космических аппаратов. *Абезяев И.Н.* *Известия российской академии наук. Механика твердого тела*. 2021, № 4, с. 36-43. Рус.

Пространственный 3D-гироскоп, разработанный автором для управления угловым положением орбитального космического аппарата (КА), предоставляет возможность создания на его основе системы ориентации, работающей как от прибора ориентации по Земле (ПОЗ), так и от астродатчика (АД), или какого-либо другого датчика без изменения основной структуры алгоритма. Такую систему можно назвать гибридной системой ориентации (ГСО). Разработка ГСО актуальна в связи с ростом требований Заказчика к универсализации разработок систем управления КА. Применение ГСО позволяет снизить нагрузку на бортовой вычислитель, упростить наземную отработку системы управления КА, улучшить качество управления КА в полете вследствие уменьшения разветвленности алгоритмов ориентации. В работе приведены рабочие алгоритмы, дан вывод основных соотношений, приведены результаты моделирования.

21.05-01.276 Аналитическая аппроксимация решения геодезической задачи. *Кучеренко П.А., Соколов С.В.* *Известия российской академии наук. Механика твердого тела*. 2021, № 4, с. 142-150. Рус.

Решена задача аналитического синтеза функций, аппрокси-

мирующей зависимости длины геодезической линии от навигационных параметров ее начальной и конечной точек для сферы и сферы Земли. Аппроксимирующие длину геодезической линии зависимости определены как для приведенной, так и для геодезической широт. Получены выражения для азимута конечной точки (при известной широте начальной точки), не требующие знания долготы конечной точки и длины геодезической линии. Найденные решения позволяют существенно сократить вычислительные затраты при решении различных классов задач навигации и геодезии.

21.05-01.277 Использование комбинированного критерия качества в динамической задаче оптимального разворота твердого тела (космического аппарата) с ограничением на фазовые переменные. *Левский М.В. Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 5, с. 64-91. Рус.*

Аналитическими методами решена динамическая задача оптимального разворота твердого тела (например, космического аппарата) из произвольного начального положения покоя в требуемое конечное положение покоя при ограниченном управлении (ограничены как управляющие функции, так и фазовые переменные). Время окончания маневра не фиксировано. Рассматривается случай, когда существенным ограничением является максимально допустимая кинетическая энергия вращения. Для оптимизации используется комбинированный критерий качества, объединяющий в заданной пропорции время разворота и интеграл от кинетической энергии вращения. Построение оптимального управления разворотом основано на кватернионных переменных и принципе максимума. Показано, что во время оптимального разворота момент сил параллелен прямой, неподвижной в инерциальном пространстве, и направление кинетического момента твердого тела (космического аппарата) постоянно относительно инерциальной системы координат. Ключевые свойства оптимального решения сформулированы в аналитическом виде. Подробно исследован особый режим управления и сформулированы условия существования или невозможности возникновения такого режима. Приведены расчетные выражения для нахождения основных характеристик программы управления. Даны пример и результаты математического моделирования движения космического аппарата как твердого тела при оптимальном управлении, демонстрирующие практическую реализуемость разработанного метода управления. Для динамически симметричного космического аппарата поставленная задача оптимального управления решается до конца — получены зависимости как явные функции времени для управляющих переменных и соотношения для расчета параметров закона управления. Созданные алгоритмы управления позволяют совершать развороты с ограниченной энергией вращения за минимальное время.

21.05-01.278 Динамический анализ установившегося колебательного процесса земного полюса. *Переёлкин В.В., Скоробогатых И.В., Аунг Мью Зо. Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 5, с. 141-151. Рус.*

Определены приливные деформации в рамках модели вязкоупругой Земли, обусловленные ее движением по инерции вокруг центра масс. Полученные выражения полюсного прилива отличаются от общепринятой модели диссипативными слагаемыми. Эти слагаемые определяются скоростью движения полюса, а не его положением. Проведен анализ динамики движения земного полюса на чандлеровской частоте с учетом полюсного прилива. Показано, что оптимальная аппроксимация параметров полюсного прилива согласно общепринятой модели, не приводит к оптимальной аппроксимации параметров установившегося колебания полюса.

21.05-01.279 Аналитическая модель магнитопаузы в многокомпонентной бесстолкновительной плазме с каппа-распределением частиц по энергиям. *Кочаровский Вл.В., Кочаровский В.В., Нечаев А.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 496, № 1, с. 19-23. Рус.*

Предложена аналитическая модель распределенного токового слоя с варьируемым профилем, разделяющего две области

анизотропной бесстолкновительной плазмы с различными величинами магнитного поля и различными эффективными температурами каппа-распределений электронов и ионов по энергиям. Модель допускает также наличие нескольких компонент ионов с различными эффективными температурами и присутствие разнесенных в пространстве локализованных встречных токов каждой из этих компонент. Продемонстрировано изменение характеристик токового слоя при переходе от максвелловского к каппа-распределению, которое учитывает наличие степенного спектра энергичных частиц, типичного для неравновесной магнитоактивной плазмы. Развита теория впервые позволяет проводить аналитическое моделирование подобных токовых конфигураций как в лабораторной, так и в космической плазме, например, в магнитопаузах планет, корональных арках или звездном ветре с магнитными облаками.

21.05-01.280 Экспериментальная проверка квантового нивелира на мобильных квантовых часах. *Фатеев В.Ф., Рыбаков Е.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 496, № 1, с. 41-44. Рус.*

Представлены результаты первой экспериментальной проверки квантового нивелира, основанного на использовании эффекта гравитационного смещения времени и метода релятивистской синхронизации. Разность ортометрических высот измерялась между пунктом в Московской области и Нижним Новгородом на расстоянии около 480 км. Использовались мобильные высокостабильные квантовые часы с относительной нестабильностью 1×10^{-15} , что обеспечило погрешность измерения около 9.1 м.

21.05-01.281 Подход для построения динамических моделей процесса раскрытия трансформируемых космических конструкций. *Вакулин В.Н., Борзыга С.В. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. 499, № 1, с. 66-72. Рус.*

Предложен универсальный подход к созданию динамических моделей раскрытия космических конструкций, позволяющий на единой методологической основе исследовать актуальные и перспективные схемы раскрытия. Подход предполагает рассмотрение пространственного движения структурно-сложной механической системы, включающей корпус аппарата и структурные элементы раскрываемой конструкции и находящейся под действием специфических силовых факторов, создаваемых средствами раскрытия. Предлагаемый подход рассмотрен на примере процесса раскрытия солнечных батарей — одной из ключевых операций функционирования космических аппаратов, надежностью выполнения которой напрямую определяется успешность выполнения миссии. Для определения сил и моментов в узлах сочленения раскрываемой конструкции получена специальная система уравнений связей. Предложенный подход значительно расширяет круг моделируемых процессов трансформации космических конструкций и позволяет провести анализ не только кинематики и динамики раскрываемой конструкции, но и определить возмущения космического аппарата, вызванные процессом раскрытия. Он может использоваться не только для практических задач выбора характеристик системы раскрытия, но и для моделирования ситуаций, принципиально не воспроизводимых в условиях наземной экспериментальной отработки.

21.05-01.282 Долгоживущие метеорные следы, сформированные при радиальном расширении крупных метеороидов. *Мигалев А.В. Космические исследования. 2021. 59, № 6, с. 498-503. Рус.*

Рассматривается возможный механизм образования долгоживущих метеорных следов необычной геометрической формы в рамках модели мгновенного разрушения метеороидного тела под действием аэродинамической силы и растеканием метеороидного вещества в поперечном основном движению ядра направлении, впервые предложенной в 1979 г. С.С. Григорьяном и развитой в последующие годы другими авторами. В рассматриваемом событии долгоживущий метеороидный след определялся формой метеороида и его динамикой в процессе разрушения метеороидного тела. Метеороидный след стал формироваться вблизи поверхности тела метеороида при его радиальном расширении, что согласуется с моделью С.С. Григорьяна мгновенного

разрушения метеорного тела под действием аэродинамической силы и поперечным расширением при разрушении метеорного тела упругими волнами. Метеорный след “уходит” в обратном и радиальном направлениях по отношению траектории полета основного метеорного тела. Отмечается, что наблюдаемые времена жизни долгоживущих метеорных следов (~20–40 мин) и их пространственные масштабы (десятки-сотни километров) могут обеспечиваться распространением крупных метеорных частиц (≥ 100 мкм). Эти частицы обладают высокими значениями импульса, которые сохраняются при горизонтальном распространении на высотах атмосферы с одинаковой плотностью на больших расстояниях без существенной потери скорости. В этом случае свечение метеорного следа может определяться классическими механизмами собственного свечения метеорного вещества и газовыми составляющими атмосферы.

21.05-01.283 Особенности магнитосферы марса по данным спутников *Марс-3* и *Фобос-2*: сопоставление с результатами *MGS* и *MAVEN*. Бреус Т.К., Веригин М.И., Котова Г.А., Славин Дэ.А. *Космические исследования*. 2021. 59, № 6, с. 504-518. Рус.

21.I.1972 на космическом аппарате *Марс-3* было зарегистрировано сильное (~27 нТл) регулярное магнитное поле в районе наибольшего приближения аппарата к дневной стороне Марса. Обсуждалось множество гипотез, посвященных природе этого поля. Только в 1998 г. в миссии *Mars Global Surveyor (MGS)* удалось измерить намагниченность поверхности Марса и прояснить особенности сложной марсианской магнитосферы. Сравнение данных *Марс-3* с данными *MGS* показало, что в 1972 г. наблюдалось сильное и регулярное магнитное поле с таким же направлением и точно над областью самой сильной намагниченности марсианской коры в южном полушарии планеты. Таким образом, *Марс-3* зарегистрировал магнитное поле марсианской коры за четверть века до его открытия. Большие области намагниченности коры в южном полушарии на удалении от планеты созданы существенный дипольный компонент в магнитном поле около Марса. Тем самым, Марс является уникальной планетой Солнечной системы, магнитосфера которой образуется при взаимодействии солнечного ветра с собственным магнитным полем коры и с ионосферой планеты. Предположение о гибридной природе марсианской магнитосферы было выдвинуто ранее по данным космического аппарата *Фобос-2*, хотя и связывалось с существованием внутреннего дипольного поля. Показано также, что данные космического аппарата *MAVEN* подтверждают вывод, сделанный по данным *Фобоса-2*, о более плотной горячей короне Марса, чем предполагалось ранее, и хорошо согласуются с результатами *Фобоса-2* по ускорению ионов в хвосте марсианской магнитосферы.

21.05-01.284 Наблюдение неустойчивости плазмы между ионосферой и обтекающим потоком на дневной стороне Марса. Ким К.И., Шувалов С.Д. *Космические исследования*. 2021. 59, № 6, с. 519-526. Рус.

Взаимодействие солнечного ветра с плазменной оболочкой планет без собственного глобального магнитного поля имеет иной характер в отличие от аналогичного процесса у Земли за счет более близкого расположения головной ударной волны к поверхности планеты. Схожие процессы и структуры при взаимодействии солнечного ветра с плазменной оболочкой планеты можно обнаружить как у планет с глобальным магнитным полем, так и без. В данной работе проводится анализ наблюдений плазменных структур, обнаруженных в переходной области между ионосферой и обтекающим потоком, более известной как область индуцированной магнитосферы, на дневной стороне Марса по данным измерений комплекса приборов по изучению характеристик частиц и полей космического аппарата *Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN)*. Вычислена скорость наблюдаемых плазменных структур из предположения, что она совпадает со скоростью де Хоффманна—Теллера путем минимизации электрического поля в подвижной системе координат. Проверена гипотеза происхождения данных структур в процессе формирования вихрей неустойчивости Кельвина—Гельмгольца с помощью анализа направления движения ионов H^+ , O^+ и O_2^+ в разных системах координат. Проведен анализ диаграмм рассеяния проекций скоростей в зави-

симости от концентрации выбранной ионной компоненты плазмы. Исходя из результатов анализа, показывается, что не все критерии детектирования выполнимы в случае процесса формирования вихрей неустойчивости Кельвина—Гельмгольца на Марсе.

21.05-01.285 Топографические особенности лунных морей и бассейнов. Родионова Ж.Ф., Жаркова А.Ю., Гришакина Е.А., Шевченко В.В. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 3, с. 195-212. Рус.

Построены и изучены более 70 топографических профилей 34 крупных лунных морей и бассейнов с целью получения количественных значений параметров, характеризующих эти образования, выявления закономерностей и особенностей их рельефа. Исследована зависимость абсолютной высоты дна и глубины бассейнов от широты, долготы, размеров и относительно возраста. Абсолютная высота дна образований на видимом полушарии, как и следовало ожидать, меньше, чем на обратном полушарии. В долготном направлении заметна тенденция увеличения глубины бассейнов в направлении от центрального меридиана к 180 меридиану (от центра видимого полушария до центра обратного полушария). Гребни валов на всем протяжении каждого из бассейнов часто имеют разные высоты. В зависимости от этой разности высот гребня вала выделены три группы бассейнов, отличающиеся перепадами высот. Предполагается, что чем больше перепад высот гребней валов, тем более косым будет падение ударника. Корреляции отмеченных выше параметров с относительным возрастом в данном исследовании не обнаружено. Морфометрические исследования ударных кольцевых структур на Луне и их интерпретация позволяют предположить, что в раннюю эпоху эволюции лунной поверхности в период около 4.4–4.0 млрд лет основными ударниками были тела кометной природы из Пояса Койпера или из Облака Оорта. Ключевые слова: Луна, рельеф, моря, бассейны, абсолютные высоты, перепады высот, относительный возраст, аномалии Буге DOI: 10.31857/S0320930X21030063.

21.05-01.286 Распределение транзитных экзопланет по массе с использованием зависимостей масса—радиус. структурирование внутри планетных систем. Яковлев О.Я., Иванова А.Е., Анянзева В.И., Шашкова И.А., Юдаев А.В., Берто Ж.-Л., Тавров А.В. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 3, с. 213-231. Рус.

Большая часть (85%) транзитных экзопланет обнаружена космическим телескопом Kepler. И только примерно у 15% из них известна масса, измеренная преимущественно методом лучевых скоростей. Массу экзопланеты возможно оценить по ее радиусу, исходя из статистических зависимостей по наблюдательным данным, хотя нет однозначной зависимости между массой и радиусом планет. Вычисленные массы по четырем статистическим зависимостям массы от радиуса (Bashi и др., 2017; Chen и Kipping, 2017; Ning и др., 2018, и выведенная “Averaged”) для экзопланет, массы которых не известны, были добавлены в распределение с известными массами. Проведено исследование полученных таким образом распределений транзитных экзопланет по массе с учетом эффекта наблюдательной селекции транзитного метода. Распределения аппроксимируются степенным законом $\sim dN/\sim dM \sim M^\alpha$, $\alpha < 0$, где показатель степени α был определен методом максимального правдоподобия для выборок с использованием четырех зависимостей масса—радиус: -2.12 ± 0.03 , -2.09 ± 0.03 , -1.94 ± 0.03 , -2.27 ± 0.04 . Кроме того, для одного из этих распределений найдены параметры степенного закона, показатель степени в котором различается на трех интервалах (с границами 0.025, 0.28, 1.35 масс Юпитера): -1.99 , -0.62 , -2.88 . Дополнительно делается вывод об отсутствии доказательства зависимости между массой экзопланеты и ее средним расстоянием до родительской звезды (структурирования внутри планетных систем) на расстояниях до 1 а. е., а также исследуется зависимость показателя степени α от рассматриваемого интервала по массе. Приведенные выше результаты были получены для экзопланет, обнаруженных космическими телескопами Kepler и TESS (составляющие группу 1). Массы остальных транзитных экзопланет, обнаруженных преимущественно наземными инструментами (группа 2), были известны. Для этой группы показатель степени α оценен как -2.21 ± 0.04 . Полученные результаты в

целом согласуется с результатами из предшествующих статистических и теоретических исследований. Ключевой идеей работы является применение модельных зависимостей массы от радиуса экзопланет для исследования распределения экзопланет по массе по актуальным наблюдательным данным. Ключевые слова: экзопланеты, транзитный метод, распределение по массе, зависимость масса-радиус, статистическое исследование DOI: 10.31857/S0320930X21030099.

21.05-01.287 Имитационное моделирование структуры пылевых фрактальных кластеров в протопланетных газопылевых дисках. *Русол А.В.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 3, с. 232-243. Рус.

Современные модели образования планетных систем, построенные с учетом доступных данных о газопылевых протопланетных дисках, включают непрерывно усложняющиеся методы компьютерного моделирования разнообразных процессов, среди которых важная роль принадлежит изучению взаимодействия пылевых частиц в диске, происходящих на масштабах от долей миллиметров до десятков и более сантиметров. Важными исходными условиями для их описания являются параметры распределения частиц по составу и размерам. Одной из актуальных задач является построение моделей пылевых кластеров, формирующихся в протопланетных дисках, с учетом существующих космохимических и физических ограничений. В данной работе основное внимание уделено методическим вопросам моделирования внутренней структуры пылевых фрактальных кластеров на основе теоретических подходов, в которых использован предложенный ранее эффективный метод проникаемых частиц. Реализован подход, позволяющий учитывать полидисперсность и гетерогенность состава твердотельной компоненты протопланетного диска. Данная методика использует следующие входные параметры модели: диапазоны распределения исходных частиц по размерам, фрактальную размерность образующихся кластеров, массовые доли ледяных и тугоплавких частиц. Автором разработано программное обеспечение для численной реализации соответствующих модельных задач. Ключевые слова: протопланетный диск, пылевые агрегаты, фрактальные кластеры, метод проникаемых частиц, численные расчеты DOI: 10.31857/S0320930X21030075.

21.05-01.288 Моделирование фрагментации пыле-ледяных кластеров на линии льда в протопланетных дисках. *Маров М.Я., Русол А.В., Макашкин А.Б.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 3, с. 244-264. Рус.

Представлены результаты математического (имитационного) моделирования структуры и свойств гетерогенных фрактальных пыле-ледяных кластеров размером ~ 0.1 –10 см и их распада на фрагменты на линии водяного льда в протопланетных дисках. Основная цель работы — выяснение условий, при которых распад кластера в результате сублимации льда приводит к образованию крупных фрагментов, сопоставимых по массе и размерам с исходным кластером или, напротив, мелких и маломассивных фрагментов. Преобладание по массе крупных или мелких фрагментов с внутренней стороны от линии льда с учетом различий их взаимодействия с газом в диске может оказать существенное влияние на локализацию и специфику формирования планетезималей. Предполагается, что кластеры состоят из пылевых агрегатов двух типов: один — преимущественно из водяного льда с малой примесью более тугоплавкого вещества, другой — преимущественно из менее летучего чем лед вещества; при этом размеры агрегатов обоих типов в десятки—сотни раз меньше размера кластера. Варьируются соотношения размеров, плотностей и массовых долей агрегатов обоих типов. При выборе значений этих параметров используются кометные данные. Показано, что крупные массивные фрагменты с внутренней стороны линии льда могут образовываться, если ледяные агрегаты в среднем существенно крупнее тугоплавких. В этом случае массивные тугоплавкие фрагменты образуются даже при относительно высокой массовой доле водяного льда ($> \sim 0.3$), согласующейся с протосолнечным отношением масс тугоплавкой и ледяной компонент ≤ 2 , при условии, что отношение плотностей тугоплавких и ледяных агрегатов $< \sim 3$. Если же отношение плотностей порядка 10, то массивные фрагменты образуются при значительно меньшей доле льда (~ 0.1), которая, однако, не противоречит кометным данным. Ключевые

слова: планеты: формирование, протопланетный диск, пылевые агрегаты, пыле-ледяные кластеры, линия льда, планетезимали, моделирование DOI: 10.31857/S0320930X2103004X.

21.05-01.289 О характеристиках особых траекторий астероида Апофис и возможности увода его от соударений с Землей. *Соколов Л.Л., Кутеева Г.А., Петров Н.А., Эскин Б.Б., Баляев И.А., Васильев А.А.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 3, с. 265-271. Рус.

Рассматриваются сближения с Землей на траекториях, ведущих к возможным соударениям с Землей астероида Апофис. Тесные сближения, особенно в 2051 г., дают возможность использования эффекта гравитационного маневра для увода астероида от соударений при небольшой затрате энергии. Получены оценки изменения скорости Апофиса после 2029 г., которые требуются для увода от основных возможных его соударений с Землей. Ключевые слова: астероид, резонансные возвраты, орбита соударения DOI: 10.31857/S0320930X21010096.

21.05-01.290 Вековые резонансы в динамике объектов, движущихся в областях ЛЕО—МЕО околоземного орбитального пространства. *Александрова А.Г., Блинова Е.В., Бордовичкина Т.В., Попандопуло Н.А., Томилова И.В.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 3, с. 272-287. Рус.

Представлены результаты выявления вековых резонансов, действующих на объекты, движущиеся в областях ЛЕО—МЕО. Результаты получены на основании обработки данных обширного численного эксперимента по исследованию орбитальной эволюции объектов, движущихся в диапазоне больших полуосей от 8000 км до зоны функционирования навигационной системы ГЛОНАСС (25 500 км), с наклонениями от 0 до 180° вне зон орбитальных резонансов. Даны карты распределения выявленных вековых резонансов. Приведен анализ орбитальной эволюции объектов. Ключевые слова: динамика околоземных объектов, области ЛЕО—МЕО, вековые резонансы, особенности орбитальной эволюции DOI: 10.31857/S0320930X21030014.

21.05-01.291 Оценка прочности лунного грунта по глубине колеи колес луноходов. *Базилевский А.Т., Маленков М.И., Волов В.А., Абдрахимов А.М., Козлова Н.А., Зубарев А.Э., Надеждина И.Е.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 4, с. 291-315. Рус.

Описываются результаты измерения глубины колеи, оставленной колесами Луноходов-1 и -2, а по глубине оценивалась прочность верхнего слоя лунного грунта на сжатие. Измерения проведены в 13 местах по маршруту Лунохода-1 и в 13 местах по маршруту Лунохода-2. Они оказались равными 9–49 мм (среднее 24 мм) для Лунохода-1, и 12–32 мм (среднее 21 мм) для Лунохода-2, то есть близки друг к другу. Естественно ожидать, что, чем прочнее грунт, тем меньше глубина колеи, и приведенные в статье расчеты подтвердили это. Использованная методика учитывала специфику колес луноходов: у них были металлотетчатые обода с высокими грунтозацепами. Разброс значений прочности по трассе Лунохода-1 оказался равным 9.8–23.4 кПа (среднее 16.9 кПа), а по трассе Лунохода-2 — 13.5–22.4 кПа (среднее 14.3 кПа). Ввиду идентичности конструкций ободов колес советских и китайских луноходов оказалось возможным применить разработанную методику для расчета прочности лунного грунта по трассе движения Yutu и Yutu-2, привлекая литературные данные о глубине колеи колес Yutu (2.5–9.3 мм) и Yutu-2 (2.3–7.8 мм), и с учетом их меньшей, чем у советских луноходов, массы. Результаты оценки прочности грунта по маршруту этих аппаратов: 10.0–19.4 и 10.9–20.2 кПа соответственно. В работе также выполнен расчетно-теоретический анализ зависимости измерений прочности грунта конусно-лопастным штампом бортового прибора оценки проходимости (ПрОП) советских луноходов и условными колесными штампами луноходов. Установлена линейная зависимость между измерениями и расчетами прочности лунного грунта этими двумя методами и раскрыты причины различий. Ключевые слова: лунный грунт, колея колес лунохода, прочность на сжатие DOI: 10.31857/S0320930X21040010.

21.05-01.292 О возможном механизме образования оксида железа в лунном реголите. *Дубинский А.Ю.,*

Попель С.И. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 316-321. Рус.

Предложена схема образования оксида железа(II) из молекул сульфида железа с использованием кислорода, входящего в состав оксида кремния, из лунного реголита. Источником энергии, запускающим реакцию обмена, служат протоны солнечного ветра. Ключевые слова: Луна, реголит, диоксид кремния, сульфид железа, оксид железа, солнечный ветер DOI: 10.31857/S0320930X21040046.

21.05-01.293 Атмосферные потери атомарного кислорода при протонных авроральных событиях на Марсе. Шематович В.И. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 322-333. Рус.

Впервые используется расчет проникновения в дневную атмосферу Марса протонов невозмущенного солнечного ветра за счет перезарядки в протяженной водородной короне (Шематович и др., 2021), что позволило самосогласованно рассчитать как источники надтепловых атомов кислорода, так и их кинетику и перенос. Дополнительный источник горячих атомов кислорода — столкновения с переносом количества движения и энергии от потока высвобождающихся атомов водорода с высокими кинетическими энергиями (ЭНА-Н) к атомарному кислороду в верхней атмосфере Марса, — включен в кинетическое уравнение Больцмана, решение которого было получено при помощи кинетической модели Монте-Карло. В результате, были получены оценки заселения горячей кислородной короны Марса и показано, что протонные авроральные события сопровождаются атомарными потерями атомарного кислорода, величина которых изменяется в пределах $(3.5-5.8) \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Показано, что экзосфера населяется значительным количеством надтепловых атомов кислорода с кинетическими энергиями вплоть до энергии убегания 2 эВ, т.е., формируется горячая кислородная корона Марса. Полученные в самосогласованных расчетах при помощи комплекса кинетических Монте-Карло моделей значения скорости потери атомов кислорода из атмосферы Марса за счет спорадического источника — высыпания ЭНА-Н при протонных авроральных событиях на Марсе, — сравнимы с величиной потери атомов O за счет регулярного источника — реакций экзотермической фотохимии (Groeller и др., 2014; Jakosky и др., 2018). В настоящее время представляется, что потери атмосферы Марса за счет воздействия плазмы солнечного ветра и, в частности, высыпания в атмосферу потоков протонов и атомов водорода с высокими энергиями при солнечных вспышках может играть важную роль в потере нейтральной атмосферы на астрономических масштабах времени (Jakosky и др., 2018). Ключевые слова: Солнечная система, Марс, солнечный ветер, горячая корона, потери атмосферы, кинетический метод Монте-Карло DOI: 10.31857/S0320930X21040083.

21.05-01.294 Моделирование распределения доз радиации электронов на поверхности спутника Юпитера Европы для различных моделей магнитного поля. Царева О.О., Попова Е.П., Попов В.Ю., Малова Х.В., Зеленый Л.М. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 334-340. Рус.

Считается, что в подледном океане Европы, спутника Юпитера, возможно существование микроскопической жизни. Однако радиационные пояса Юпитера усложняют возможность ее обнаружения на поверхности или на небольших глубинах. С помощью численного моделирования, мы исследовали влияние наклона магнитного диполя Юпитера, альвеновских крыльев и индуцированного поля Европы на динамику электронов вблизи спутника Юпитера, что позволило уточнить карту доз радиации на поверхности Европы, полученную ранее в приближении ведущего центра. Ключевые слова: Европа — спутник Юпитера, радиация, радиационные пояса Юпитера DOI: 10.31857/S0320930X21040113.

21.05-01.295 Особенности динамической эволюции массивного диска транснептуновых объектов. Емельяненко В.В. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 341-347. Рус.

Рассмотрены динамические особенности массивного диска далеких транснептуновых объектов в модели образования малых тел в области Хилла гигантского газопылевого сгущения, воз-

никшего вследствие гравитационной неустойчивости и фрагментации протопланетного диска. Изучена динамическая эволюция орбит малых тел под действием гравитационных возмущений от внешних планет и самогравитации диска в течение промежутка времени порядка миллиарда лет. Показано, что вековые эффекты гравитационного влияния массивного диска малых тел приводят к увеличению эксцентриситетов орбит отдельных объектов. Результатом такого динамического поведения является создание потока малых тел, подходящих близко к орбите Нептуна. Изменение числа объектов, сохраняющихся в области наблюдения далеких транснептуновых объектов (область орбит с перигелийными расстояниями $40 < q < 80$ а. е. и большими полуосями $150 < a < 1000$ а. е.), с течением времени зависит от начальной массы диска. Для дисков с массой, превышающей несколько масс Земли, имеется тенденция к уменьшению числа далеких транснептуновых объектов, сохранившихся в области наблюдаемости после эволюции в течение промежутка времени порядка возраста Солнечной системы, с увеличением начальной массы. С другой стороны, для большинства объектов эксцентриситеты орбит уменьшаются под влиянием самогравитации диска. Поэтому основная часть диска сохраняется в области гелиоцентрических расстояний, превышающих 100 а. е. Ключевые слова: Солнечная система, газопылевые сгущения, транснептуновые объекты, долговременная эволюция, распределение орбит DOI: 10.31857/S0320930X21040058.

21.05-01.296 Разложение компланарного потенциала кольца Гаусса в ряд по степеням эксцентриситета. Кондратьев В.П., Корноухов В.С., Трубицына Н.Г. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 348-358. Рус.

Поставлена и решена задача о разложении потенциала почти кругового эллиптического кольца Гаусса в ряд по степеням эксцентриситета. Гравитационный потенциал кольца представлен степенным рядом до членов e^4 включительно на всем множестве точек главной плоскости кольца. Основной результат: получены два комплекта коэффициентов для степенных рядов потенциала внутри и вне кольца, которые выражаются через полные эллиптические интегралы первого и второго рода. Для контроля формул используются преобразования Ландена. Доказано, что в точке активного фокуса кольца четыре коэффициента первого комплекта обращаются в нуль. Результаты расчетов применяются для построения эквипотенциалей колец Гаусса, моделирующих орбиты планет Солнечной системы. Ключевые слова: эллиптические кольца Гаусса, гравитационный потенциал, разложение в ряд по степеням эксцентриситета, эквипотенциалы, орбиты планет DOI: 10.31857/S0320930X21030026.

21.05-01.297 Определение параболической орбиты. Поиск решения в методе алгебраических уравнений. Кузнецов В.В. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 359-367. Рус.

Предложен алгоритм поиска решения при определении предельной параболической орбиты, с помощью предлагаемого автором метода, основанного на решении системы алгебраических уравнений для двух безразмерных переменных. Решение системы находится посредством поиска минимумов целевой функции методом Нелдера—Мида по симплексу. В качестве примера приведены результаты определения орбиты кометы 153P/Ikeya—Zhang. Ключевые слова: параболическая орбита, метод Нелдера—Мида, алгебраические уравнения DOI: 10.31857/S0320930X21030038.

21.05-01.298 Тестирование звездного интерференционного коронографа в составе наземного телескопа. Юдаев А.В., Яковлев О.Я., Киселев А.В., Барке В.В., Венкстери А.А., Шашкова И.А., Тавров А.В. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 368-380. Рус.

Метод прямого наблюдения экзопланет (direct exoplanet imaging) с помощью звездного коронографа увеличивает контраст изображения в дифракционной окрестности звезды. Недостаточное уменьшение фона звезды происходит вследствие требуемого качества волнового фронта, превосходящего возможности современных оптических и астрономических систем. В работе оценены достижимые коронографические контрасты для наземного и внеатмосферного телескопов без применения адаптивной оптики (АО) и в дальнейшем запланиро-

вано применение устройств АО: наклонного зеркала и пиксельной АО для коррекции зональной ошибки. Для практического тестирования перспективной многоконтурной системы телескопа с активной оптикой, корректирующей ВФ, мы построили коронограф с малой апертурой телескопа, позволяющей наблюдать эффект коронографического ослабления звезды. Последнее важно для отработки прецизионного ведения (гидирования) звезды автоматизированным параллактическим приводом телескопа для построения практической циклограммы работы устройства адаптивной оптики. Оценены ошибки волнового фронта внутри интерференционного коронографа, начаты эксперименты, получено удержание линии визирования. Ключевые слова: звездный коронограф, высококонтрастное астрономическое изображение, ноль интерферометр, метод прямого наблюдения экзопланет DOI: 10.31857/S0320930X21030105.

21.05-01.299 Болидный рой α -Андромедид и метеоритообразующий болид над Словакией. Терентьева А.К., Баканас Е.С. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 381-383. Рус.

На основании связи метеоритообразующего болида EN 041096 Kremnica (Spurný, Borovicka, 1997) с болидным роем α -Андромедид (№ 55) (Terentjeva, 1990) установлен метеоритообразующий болидный рой α -Андромедид. Этот рой пополняет список метеоритообразующих роев, найденных нами ранее. К настоящему времени этот список состоит из 14 метеоритообразующих роев. Поскольку метеоритообразующие рой могут содержать крупные метеороидные тела, встреча с ними может быть не безопасной для Земли. Поэтому проблема этих потенциально опасных роев должна быть в центре внимания исследователей метеоров и являться составной частью общей проблемы космической угрозы. Ключевые слова: метеоритообразующий рой, болид, орбита, метеороид, метеор DOI: 10.31857/S0320930X21040095.

21.05-01.300 Владимир Наумович Жарков (04.03.1926—26.02.2021). Редакционная коллегия. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 4, с. 384-384. Рус.

DOI: 10.31857/S0320930X21040071.

21.05-01.301 Устойчивость ферментов к воздействию ионизирующей радиации в модельных условиях реголита Марса. Чепцов В.С., Белов А.А., Воробьева Е.А., Павлов А.К., Цурков Д.А., Фролов Д.А., Ломасов В.Н., Чумиков А.Е. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 5, с. 387-392. Рус.

Одним из основных факторов, разрушающих биомолекулы во внеземных условиях, является ионизирующее излучение. Эффекты воздействия радиации зависят от условий (давление, температура, присутствие различных химических веществ) облучения. Нами исследована устойчивость ферментов (каталазы и дегидрогеназы) в почве при облучении ускоренными электронами в дозах до 100 кГр при низком давлении (0.01 торр) и низкой температуре (-130°C). После воздействия дозы 100 кГр каталазная активность сохранилась на контрольном уровне, дегидрогеназная активность снизилась в 5 раз. Результаты исследования позволяют предполагать возможность длительного сохранения активных ферментов в марсианском реголите до их инактивации вследствие накопления радиационных повреждений. Принимая во внимание интенсивность ионизирующего излучения в поверхностном слое реголита Марса, мы считаем, что снижение дегидрогеназной активности в 10, 100 и 1000 раз от исходного уровня могло бы произойти в течение 1.9, 3.8 и 5.7 млн лет соответственно, каталаза же могла бы сохранять активность в течение еще более длительных периодов. Полученные данные свидетельствуют в пользу возможности детектирования ферментативной активности посадочными аппаратами в рамках планируемых космических миссий. Ключевые слова: Марс, биомаркеры, астробиология, почва, ферментативная активность, ускоренные электроны DOI: 10.31857/S0320930X21040022.

21.05-01.302 К вопросу о потоках пылевых частиц, зафиксированных у поверхности Луны аппаратом Chang'E-3. Голубь А.П., Попель С.И. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 5, с. 393-402. Рус.

Проанализировано происхождение пылевых частиц в припо-

верхностном слое над лунной поверхностью, потоки которых измерялись в рамках лунной миссии КНР Chang'E-3. Рассмотрены частицы лунного реголита, поднятые над поверхностью Луны либо в результате электростатических процессов, либо вследствие ударов метеороидов. Оказывается, что основной вклад в наблюдаемые потоки массы пылевых частиц вносили микрометровые пылевые частицы, происхождение которых обусловлено выбросами вещества реголита с лунной поверхности в результате ударов метеороидов. Проведены теоретические расчеты потока массы пылевых частиц, которые оседают на измерительной поверхности космического аппарата Chang'E-3, расположенной на высоте 190 см над лунной поверхностью. Оказывается, что теоретическая величина примерно в 7 раз превосходит измеренное в рамках миссии Chang'E-3 значение потока массы пылевых частиц. Данное расхождение может быть обусловлено как неточностью используемых при расчетах параметров, характеризующих условия на Луне и свойства лунного реголита, так и тем фактом, что основная часть массы, поднимающейся над поверхностью Луны в результате ударов метеороидов, содержится в микрометровых частицах, значительная часть которых могла осыпаться с измерительной поверхности космического аппарата Chang'E-3 и соответственно, не была учтена в измерениях. Ключевые слова: Луна, реголит, лунная миссия КНР Chang'E-3, пылевые частицы, пылевая плазма, метеороиды DOI: 10.31857/S0320930X2104006X.

21.05-01.303 Результаты фотометрических наблюдений АСЗ (2100) Ra-Shalom в сближение 2019 г. Абдуллоев С.Х., Киселев Н.Н., Шамсиддинов Ш.Ш. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 5, с. 403-407. Рус.

Приведены результаты фотометрических ПЗС-наблюдений АСЗ (2100) Ra-Shalom, выполненные в период 24—29 августа 2019 г. на 1-м телескопе обсерватории Санглох Института астрофизики Национальной академии наук Республики Таджикистан. Определен период вращения $P=19.8\pm 0.1$ ч. Построены составные кривые блеска в фотометрических полосах BVR , определены амплитуда изменения блеска $\Delta V = 0.61\pm 0.05^m$ и средние величины показателей цвета $B-V=0.75\pm 0.05^m$, $V-R=0.40\pm 0.02^m$. Изменения показателей цвета с периодом вращения находятся в пределах ошибок измерений, что указывает на однородность отражательной способности поверхности Ра-Шалома. Абсолютная звездная величина астероида равна 15.91 ± 0.10^m . Оценено соотношение осей астероида $a/b=1.75$. Ключевые слова: астероиды, сближающиеся с Землей, АСЗ (2100) Ра-Шалом, фотометрия, абсолютный блеск, показатели цвета, период вращения DOI: 10.31857/S0320930X21050017.

21.05-01.304 Результаты фотометрических наблюдений кометы P/2019 LD2 в обсерватории Санглох. Кохинова Г.И., Рахматуллаева Ф.Дж., Борисенко С.А. *Астрономический вестник*. 2021. 55, № 5, с. 408-415. Рус.

Короткопериодическая комета P/2019 LD2 (Атлас) открыта в июне 2019 г. Первоначально объект был классифицирован как троянский астероид, но позже был включен в группу комет семейства Юпитера. Виду доподлинно неизвестной природы происхождения объекта исследование кометы представляет особый научный интерес. В этой связи в Международной астрономической обсерватории Санглох (МАОС) Института астрофизики НАНТ в августе 2020 г. проведены оптические наблюдения кометы. Величина абсолютного блеска кометы в фильтре R по нашим измерениям составляет 11.41^m , оценены параметр пылепроизводительности и верхний предел радиуса ядра 7.4 км. Выявлено распределение яркости вдоль хвоста и структура пылевого хвоста. Показано, что вблизи поверхности ядра кометы находятся самые крупные пылевые частицы размером более 100 мкм и по мере удаления от ядра размеры частиц хвоста уменьшаются. Фотометрические данные указывают, что в период мониторинга комета находилась в состоянии нормальной кометной активности, связанной главным образом, с недавним прохождением перигелия. Анализ орбиты кометы показал, что она действительно находится в стадии перехода из группы кентавров в кометы семейства Юпитера. Ключевые слова: комета, фотометрия, блеск, пылепроизводительность, радиус, изофота, диаграмма Фиссона—Пробстейна DOI: 10.31857/S0320930X21050030.

21.05-01.305 Взаимосвязь состава, структуры и ме-

ханических свойств н5 хондритов на примере NWA 12370 и Pultusk. *Воропаев С.А., Нугманов И.И., Душенко Н.В., Кузьмина Т.Г., Корочанцев А.В., Сенин В.Г., Елисеє А.А., Джинго Я.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 416-426. Рус.

Методами Рамановской спектроскопии, РФЛА и электронного зондирования детально изучены особенности состава и внутренней структуры хондрита NWA 12370, петрологический тип H5 S1 W1. С помощью ультразвуковых волн и статическими методами изучены механические свойства хондрита в зависимости от внешнего гидростатического давления. Данный метеорит является фрагментом каменного дождя из обломков внутренней части крупного астероида, размером порядка 200 км. Проведено сравнение полученных механических характеристик с другим хорошо изученным хондритом Pultusk того же типа, ударная брекчия H4/H5 S2 W1. На ранней стадии Солнечной системы такие планетизимали вносили существенный вклад в геохимическую эволюцию планет Земной группы. Понимание особенностей связи внутренней структуры и упругих свойств H хондритов важно как для оценки их вклада в состав коры и верхней мантии Луны и Земли, так и для уточнения условий формирования окислительно-восстановительного (редокс) потенциала недр планет. Ключевые слова: планетизимали, деформации, ударная эволюция, упругость, хондриты, редокс потенциал, тепловой метаморфизм DOI: 10.31857/S0320930X2105008X.

21.05-01.306 О особенностях динамики объектов, движущихся в зонах орбитальных резонансов 1 : 4, 1 : 6 и 1 : 8 с вращением Земли. *Томилова И.В., Блинкова Е.В., Бордовицына Т.В.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 427-443. Рус.

Представлены результаты исследования динамической структуры околоземного орбитального пространства в областях орбитальных резонансов 1 : 4, 1 : 6 и 1 : 8 со скоростью вращения Земли и изучения орбитальной эволюции объектов, движущихся в этих областях. Выявлены зоны действия пяти компонент для каждого из перечисленных орбитальных резонансов, вековых апсидально-нодальных резонансов и резонансов со средним движением третьего тела (Луны и Солнца) в указанных областях околоземного орбитального пространства. Представлены карты распределения выявленных резонансов. Приведены динамические карты исследуемых областей, полученные с использованием индикатора MEGNO. Выявлены области хаотичности, соответствующие перекрытию резонансов разных типов. Ключевые слова: динамика околоземных объектов, орбитальный резонанс, вековые апсидально-нодальные резонансы, MEGNO-анализ DOI: 10.31857/S0320930X21040101.

21.05-01.307 Прибор МЕТЕОР-Л на лунном орбитальном аппарате Луна-26: детектор космической пыли. *Слюта Е.Н., Высочкин В.В., Иванов В.В., Маковчук В.Ю., Назаров А.И., Погонин В.И., Роскина Е.А., Сафронов В.В., Тацый Л.П.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 444-453. Рус.

Детектор космической пыли ионизационного типа МЕТЕОР-Л разрабатывается для лунного орбитального аппарата Луна-26 и предназначен для изучения распределения в пространстве метеорных тел по массе и скорости, и долговременного мониторинга динамической эволюции пылевой компоненты в лунной экзосфере. Последние исследования облаков пыли вокруг Луны показывают тесную взаимосвязь постоянной и динамической эволюции компонентов лунной экзосферы, геологической истории образования лунного реголита, процессов образования и накопления летучих компонентов в лунном реголите с постоянным воздействием таких компонентов межпланетной среды, как межпланетная пыль преимущественно кометного происхождения и метеороиды из пояса астероидов. Детектор космической пыли способен регистрировать метеорные частицы размером 0.1–3 мкм с массой 10^{-14} – 10^{-9} г и скоростью от 3 до 35 км с⁻¹. Испытания и калибровка на ускорителе частиц подтвердили заявленные функциональные возможности детектора для регистрации частиц космической пыли с параметрами, характерными для лунной экзосферы. Ключевые слова: Луна, лунная экзосфера, межпланетная пыль, метеорный поток, метеороиды, метеоритная бомбардировка, детектор космической

пыли, лунный реголит DOI: 10.31857/S0320930X21050042.

21.05-01.308 Эксперимент термо-лр на посадочном аппарате Луна-27: изучение теплофизических, физико-механических и электромагнитных свойств лунного грунта. *Слюта Е.Н., Маров М.Я., Дурченко А.Г., Маковчук В.Ю., Морозов О.В., Назаров А.И., Иванов В.В., Погонин В.И., Роскина Е.Г., Сафронов В.В., Харлов Б.Н., Тацый Л.П.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 454-475. Рус.

Прибор разрабатывается для эксперимента ТЕРМО-ЛР на лунном посадочном космическом аппарате Луна-27 и предназначен для контактных геофизических измерений различных свойств лунного грунта на поверхности и на глубину до 3 м. Рассматриваются научные задачи эксперимента по исследованию физико-механических (плотность, механические и деформационные характеристики), теплофизических (теплопроводность, теплоемкость) и электромагнитных (диэлектрическая проницаемость, магнитная восприимчивость) свойств лунного грунта и внутреннего теплового потока Луны. Приводятся описание конструкции и технические характеристики, функциональная схема и режимы работы прибора, который состоит из трех основных блоков — блока глубинных исследований с глубинным каротажным зондом, блока поверхностных исследований и блока электроники. В состав каротажного зонда входят самозаглубляющийся молоток пенетратор, датчик диэлектрической проницаемости, датчик магнитной восприимчивости и лента с термодатчиками для измерения распределения температуры в грунте и внутреннего теплового потока. В состав блока поверхностных исследований входят термодатчики для измерений в пассивном и активном режимах теплофизических свойств лунного грунта на поверхности. Рассматриваются испытания и калибровка термодатчиков блока поверхностных исследований, которые подтвердили высокие эксплуатационные характеристики датчика и надежность интерпретации измерений. Ключевые слова: Луна, лунный грунт, реголит, ТЕРМО-ЛР, Луна-27, каротажный зонд, физико-механические свойства, теплофизические свойства, электромагнитные свойства, внутренний тепловой поток DOI: 10.31857/S0320930X21050054.

21.05-01.309 О силе притяжения эллиптического Гауссова кольца. *Вашиковьяк М.А.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 476-484. Рус.

Описан численно-аналитический метод анализа орбитальной эволюции спутника планеты под влиянием возмущающего тела, движущегося по эллиптической орбите. В используемой осредненной схеме Гаусса это влияние заменено притяжением материального эллиптического кольца соответствующей массы. На основе полученного Б.П. Кондратьевым замкнутого аналитического выражения силовой функции такого кольца представлены формулы для компонент силы притяжения, действующего на спутник планеты. Для анализа орбитальной эволюции использован метод численного интегрирования осредненных уравнений в кеплеровских элементах. Рассмотрены два методических иллюстративных примера: главное тело Меркурий — возмущающее тело Солнце — искусственный спутник Меркурия типа “Messenger”; главное тело Земля — возмущающие тела Луна и Солнце — гипотетический ИСЗ с апогеем вне сферы радиуса лунной орбиты. Описанный метод может быть использован в эволюционных задачах небесной механики при изучении возмущенного движения малых тел Солнечной системы. Ключевые слова: эволюция спутниковых орбит, эллиптическое кольцо Гаусса, силовая функция, компоненты силы, осредненные уравнения, численное интегрирование DOI: 10.31857/S0320930X21050066.

21.05-01.310 Нелинейность в обратных задачах динамики внешних спутников Юпитера. *Баньциков М.А., Авдошев В.А., Шмидт Е.Е.* *Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 485-490. Рус.

Представлены результаты исследования полной и внутренней нелинейностей в обратных задачах динамики далеких спутников Юпитера, наблюдавшихся на очень коротких орбитальных дугах. Выявлена взаимосвязь между нелинейностью и условиями спутниковых наблюдений. В частности, показано, что очень сильная полная нелинейность имеет место, когда период

наблюдений меньше 0.1 от орбитального периода. Кроме того, показано, что внутренняя нелинейность достаточно слабая для всех спутников. Это указывает на возможность применения нелинейных методов для адекватного моделирования их орбитальной неопределенности. Ключевые слова: спутники Юпитера, определение орбит, вероятностное оценивание, нелинейность DOI: 10.31857/S0320930X21050029.

21.05-01.311 Некоторые аспекты хронологического исследования и использования терминологии ограниченной круговой двукратно осредненной задачи трех тел. *Вашковьяк М.А. Астрономический вестник.* 2021. 55, № 5, с. 491-492. Рус.

Данная дискуссионно-полемика заметка имеет своей целью прояснить и упорядочить некоторые аспекты хронологического исследования и использования терминологии известной ограниченной круговой двукратно осредненной задачи трех тел. Эта интегрируемая задача широко применяется в исследованиях орбитальной эволюции как искусственных небесных тел, так и астрономических объектов самых различных классов: метеорных потоков, астероидов, спутников планет, экзопланетных систем. Вначале приведем известные сведения, по данной проблеме, а затем сформулируем предложения. DOI: 10.31857/S0320930X21050078.

21.05-01.312 Точность симметричных многошаговых методов численного моделирования движения спутника. Accuracy of symmetric multi-step methods for the numerical modelling of satellite motion. *Кареева Е.Д., Адаев И.Р., Шан'ко Ю.В. Журнал Сибирского Федерального университета. Математика и физика.* 2020. 13, № 6, с. 781-791. Англ.

Обсуждается устойчивость линейных многошаговых симметричных методов высокого порядка в задаче гармонического осциллятора. Приведены эффективные алгоритмы вычисления интервалов абсолютной устойчивости и периодичности. Численные эксперименты демонстрируют точность вычисления орбиты на интервале около одного года для трехмерной задачи Кеплера и для специально разработанной трехмерной тестовой задачи, которая моделирует систему Земля—Луна—спутник и имеет точное решение.

21.05-01.313 О последовательных искривленных пространствах продуктов Эйнштейна. On Einstein sequential warped product spaces. *Samra Pahan, Buddhadev Pal. Журнал математической физики, анализа, геометрии.* 2019. 15, № 3, с. 379-394. Англ.

Изучаются последовательные искривленные пространства произведения Эйнштейна. Доказывается, что если M — пространство последовательного искривленного произведения Эйнштейна с отрицательной скалярной кривизной, то функции деформации являются константами.

21.05-01.314 Модель воздействия гравитационно-волнового излучения релятивистских двойных звездных систем на электрическое поле в тропосфере. *Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Известия вузов. Физика.* 2021. 64, № 3, с. 114-120. Рус.

Предложена модель, объясняющая ранее обнаруженный авторами эффект гравитационно-волнового воздействия релятивистских двойных звездных систем на вертикальную составляющую напряженности электрического поля Земли в приземном слое атмосферы. В качестве механизма в модели рассматривается возмущение орбиты Земли гравитационными волнами от релятивистских двойных звездных систем, приводящее к малым смещениям Земли по отношению к свободному объемному заряду в тропосфере. Полученные на основании приведенной модели оценки амплитуды компонент E_z , спектрально локализованных на частотах гравитационных волн релятивистских двойных звездных систем, не противоречат экспериментальным результатам.

21.05-01.315 Структура мазера H₂O в NGC 2071 IRS 1 по наблюдениям на наземно-космическом радиointерферометре "Радиоастрон". *Щуров М.А., Вальтц И.Е., Шахворостова Н.Н. Астрон. ж.* 2021. 98, № 7, с. 531-549. Рус.

В рамках выполнения научной программы наземно-космического интерферометра "Радиоастрон" проведена обработка данных наблюдений мазера H₂O на частоте 22.2280 ГГц в темной отражательной туманности NGC 2071 в направлении инфракрасного объекта IRS 1 на координатах наведения RA(2000) = 05^h47^m04.758^s, DEC(2000) = 00°21'42.700". Длительность сеанса 11.01.2014 составила 70 мин. В наблюдениях принимали участие космический радиотелескоп (КРТ-10) и три радиотелескопа наземной сети: РТ-32 (Медицина, Италия), РТ-32 (Торунь, Польша) и РТ-64 (Калязин, РФ). Реализованы следующие параметры: угловое разрешение 70 мкс на наземно-космических базах при максимальных проекциях баз 3.1 ED (~40000 км); синтезированная диаграмма направленности наземной части интерферометра 0.006'×0.0006" (P.A.—23°); спектральное разрешение 7.81 кГц (т.е. 0.11 км/с). Получена карта размером ~100×100 mas (mas — угловая миллисекунда), что соответствует ~40×40 а.е. при расстоянии до туманности 390 пк, распределения мазерных пятен, на которой присутствует 13 пространственных компонентов. Интервал скоростей на луче зрения этих компонентов составляет 4.7—20.5 км/с при ширине спектральных деталей 0.2—0.6 км/с, плотность коррелированного потока в максимуме линии варьируется в пределах от ~4 до ~29 Ян. Зафиксирован один пространственный компонент (имеющий лучевую скорость 14.3 км/с), для которого со сверхвысоким угловым разрешением на наземно-космических базах SRT—Tr и SRT—Mc наблюдается корреляция на уровне надежности более 6σ. На основании анализа зависимости функции видности от величины проекций баз предложена двухкомпонентная модель пространственной структуры этого компонента с размерами протяженной и компактной составляющей в угловой мере 4 mas и 0.06 mas, т.е. 1.56 а.е. (с неопределенностью 10%) и 0.023 а.е. (с неопределенностью 50%) соответственно. Ключевые слова: радионаблюдения, мазер H₂O, NGC 2071 IRS 1 DOI: 10.31857/S0004629921070057.

21.05-01.316 Затменно-двойные системы со сложными изменениями орбитальных периодов XZ Per и VO Vul. *Халиуллина А.И. Астрон. ж.* 2021. 98, № 7, с. 550-561. Рус.

Проведено исследование изменений орбитального периода в затменно-двойных системах XZ Per и VO Vul. Показано, что изменения орбитального периода затменно-двойной системы XZ Per одинаково хорошо представляются как суперпозицией векового уменьшения и циклических изменений, так и суммой двух циклических изменений. В первом случае монотонная составляющая может быть следствием потери системой углового момента за счет магнитного торможения, а циклические изменения можно объяснить присутствием в системе третьего тела или магнитной активностью вторичного компонента, имеющего конвективную оболочку. Во втором случае можно предположить присутствие двух дополнительных тел в системе, либо отнести одно из колебаний периода на счет светового уравнения, а другое — на счет магнитной активности вторичного компонента. Изменения орбитального периода затменно-двойной системы VO Vul можно представить суперпозицией векового уменьшения и циклических изменений. Наблюдаемые циклические изменения периода могут происходить из-за присутствия в системе третьего тела или из-за магнитной активности вторичного компонента, имеющего конвективную оболочку. Ключевые слова: двойные звезды, затменные звезды, отдельные — XZ Per, VO Vul DOI: 10.31857/S0004629921070021.

21.05-01.317 Анализ фотоэлектрических покрытий и построение цифровой модели лунной либрационной зоны. *Чуркин К.О., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О., Демина Н.Ю., Кронрод Е.В. Астрон. ж.* 2021. 98, № 7, с. 562-570. Рус.

Одной из актуальных задач современной астрономии является наблюдение и исследование быстро протекающих небесных процессов. Это можно сказать и о наблюдениях покрытий звезд Луной фотоэлектрическим методом. Такие измерения представляют собой уникальный и важный материал как для определения диаметров звезд на основе анализа дифракционной кривой изменения блеска покрываемой звезды, так и для построения модели либрационной зоны Луны. Данная работа сфокусирована на построении цифровой модели изогипс

(DMI), характеризующих положение 40 тысяч селеноцентрических радиус-векторов в зависимости от положения лунного лимба. Ключевые слова: селенодизические исследования, цифровая база фотоэлектрических покрытий, модель либрационной зоны Луны, селеноцентрическая система координат DOI: 10.31857/S000462992108003X.

21.05-01.318 Исследование вековой эволюции циркумбинарных систем на моделях R-тороида и колец Гаусса. Кондратьев Б.П., Корноухов В.С. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 7, с. 571-580. Рус.

Разработаны два метода изучения вековой (апсидальной и нодальной) прецессии орбит в циркумбинарных системах, состоящих из двойной звезды и экзопланеты. Первый метод основан на модели из трех R-тороидов и предназначен для исследования прецессии пробных орбит. Для экзосистем Kerler-413 и Kerler-453 найдены взаимная ориентация угловых моментов звездной пары $=L_{12}$ и планеты L_p относительно плоскости Лапласа, вычислены отношение $\gamma=L_{12}/L_p$ и зональные гармоники потенциала R-тороидов. Получены и решены уравнения для частот обоих типов прецессии, установлено доминирующее влияние тороидов звездной пары. Второй метод опирается на модель взаимодействующих колец Гаусса и предназначен для исследования вековой эволюции орбит звезд и планеты самой циркумбинарной системы. Такой подход позволил точно рассчитать периоды нодальной прецессии для звезд и планеты; например, в системе Kerler-413 эти периоды равны, соответственно, $T_1^0=11.63\pm 0.28$ лет, $T_2^0=11.39\pm 0.28$ лет, $T_p^0=11.49\pm 0.28$ лет. Выявлен тонкий эффект влияния планеты на нарушение резонанса 1:1 для периодов нодальной прецессии звезд. Ключевые слова: циркумбинарные системы, вековые возмущения, эллиптические кольца Гаусса, R тороид, прецессия и эволюция оскулирующих орбит DOI: 10.31857/S0004629921080077.

21.05-01.319 Сравнительный анализ условий распространения миллиметровых радиоволн на радиоастрономических полигонах России и Узбекистана. Вубукин И.Т., Ракуть И.В., Агафонов М.И., Яблоков А.А., Панкратов А.Л., Горбунова Т.Ю., Горбунов Р.В. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 7, с. 581-598. Рус.

На основе сравнительного анализа данных интегрального влагосодержания атмосферы в период 08.2019—01.2020 для полигона ННГУ НИРФИ Карадаг, трех полигонов ИПА РАН (Зеленчукская, Светлое, Бадары) и строительной площадки 70-м радиотелескопа на плато Суффа (Узбекистан) (средние значения за 1981—1991 гг.) показана целесообразность расширения параметров оценки при выборе площадки Карадаг для установки антенны миллиметрового диапазона. Это связано с отсутствием на территории Российской Федерации мест с устойчивой хорошей прозрачностью атмосферы в миллиметровом диапазоне, сравнимых с плато Чахнантор в Чили. Наряду с использованием среднемесячных значений интегрального влагосодержания в качестве основного критерия к выбору площадки следует учитывать как характеристику розы ветров на полигоне Карадаг, так и более детальное ежесуточное и внутрисуточное распределение влагосодержания. На площадке Карадаг даже в летнее время периодически возникает высокая прозрачность атмосферы. Интегральное влагосодержание уменьшается до уровней, сопоставимых с этим параметром на горной площадке Суффа. Полученные результаты позволяют скорректировать существующие принципы размещения астрономических инструментов и систем космической связи миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на территории РФ. Ключевые слова: миллиметровые волны, распространение, атмосфера, поглощение, влагосодержание DOI: 10.31857/S0004629921080016.

21.05-01.320 Наблюдаемость одиночных нейтронных звезд на СРГ/eROSITA. Хохрякова А.Д., Вирюков А.В., Попов С.Б. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 7, с. 599-616. Рус.

Четырехлетний обзор неба с использованием телескопа eROSITA на борту обсерватории Спектр-РГ с фокусирующей оптикой позволит получить наилучший обзор в мягком (0.5—2 кэВ) и стандартном (2—10 кэВ) рентгеновских диапазонах, как с точки зрения чувствительности, так и с точки зрения углового разрешения. Мы провели исследование возможности

обнаружения различных типов одиночных нейтронных звезд с помощью eROSITA. Среди уже известных объектов eROSITA сможет зарегистрировать более 160 пульсаров, 21 магнитар, 7 центральных компактных объектов, все семь источников Великоленной семерки и две другие рентгеновские одиночные нейтронные звезды в течение четырехлетней миссии. Кроме того, ожидается, что eROSITA сможет обнаружить аккрецирующие одиночные нейтронные звезды, а также открывать новые остывающие нейтронные звезды и магнитары. Ключевые слова: нейтронные звезды, пульсары, рентгеновские наблюдения, рентгеновская астрономия DOI: 10.31857/S0004629921080065.

21.05-01.321 Джет блазара OJ 287 от парсековых до килопарсековых масштабов. Вутузова М.С. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 8, с. 619-629. Рус.

Изогнутая форма килопарсекового джета блазара OJ 287 анализируется с позиции прецессии центральной машины, на существовании которой основано большое количество исследований за последние десятилетия. Необходимые для анализа данные о скорости и угле с лучом зрения килопарсекового джета получены исходя из двух конкурирующих предположений о механизме образования рентгеновского излучения джета OJ 287. А именно, из обратного комптоновского рассеяния реликтового фона при релятивистском килопарсековом джете и обратного комптоновского рассеяния излучения центрального источника. Для последнего было показано, что ожидаемый поток от килопарсекового джета в гамма-диапазоне не превышает установленный на него предел по данным *Fe-rti*-LAT. Получено, что только период спирали килопарсекового джета, оцененный в рамках обратного комптоновского рассеяния излучения центрального источника, согласуется с периодом прецессии центральной машины, определенным из модуляции пиковых значений 12-летних оптических вспышек. Ключевые слова: блазар, OJ 287, винтовой джет, прецессия, обратное комптоновское рассеяние DOI: 10.31857/S0004629921080028.

21.05-01.322 Переменность спектра молодого остатка Сверхновой G11.2—0.3. Иванов В.П., Ипатов А.В., Рахимов И.А., Андреева Т.С. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 8, с. 630-642. Рус.

Уточнен спектр G11.2—0.3 путем приведения опубликованных данных измерений интенсивностей к шкале потоков “искусственная луна” и исследована динамика его изменений на различных временных шкалах от 0.4 до более 10 лет. Обнаружен рост потоков радиоизлучения G11.2—0.3 в течение ≥ 30 лет на волнах $3\text{ см} \leq \lambda \leq 375\text{ см}$ с частотной зависимостью: средняя скорость изменений убывает пропорционально $\log(f)$, и на частотах $f \geq 10$ ГГц рост сменился падением. Измерения на радиотелескопе РТ-32 обсерватории “Светлое” (ИПА РАН) в 2013—2019 гг. показали уменьшение потоков G11.2—0.3 на фоне быстрых нестационарных изменений со средней скоростью $(\sim 5.4 \pm 6.6)\%/год$ на длине волны $\lambda = 6.2\text{ см}$ и $(-1.5 \pm 0.9)\%/год$ на $\lambda = 3.5\text{ см}$. Этапы роста и падения потоков разделяет эпоха 2016.9 ± 0.6 . Спектр G11.2—0.3 является суммой спектров оболочки и плериона, параметры каждого из них были определены по разработанной нами методике на эпоху 1972.5. Получены значения спектральных индексов α_1 оболочки и α_2 PWN: $\alpha_{1972} = 0.77$; $\alpha_{2972} = 0.251$. Динамика радиоизлучения остатка отражает сценарий взаимодействия ударной волны и CSM. Обсуждаются возможные причины эволюционных и нестационарных изменений. Ключевые слова: остаток сверхновой, плерион, ударная волна, радиотелескоп.

21.05-01.323 Асинхронные звезды в тесных двойных системах. Чернов С.В. *Астрон. жс.* 2021. 98, № 8, с. 643-662. Рус.

Спутник “Kerler” пронаблюдает более восьмисот тесных двойных систем, для которых удалось измерить не только орбитальные периоды, но и скорости вращения звезд. Оказалось, что многие звезды в тесных двойных системах не синхронизованы, т.е. период вращения звезды не точно равен орбитальному периоду. В работе рассмотрены две модели, способные объяснить асинхронность звезд либо за счет дифференциального вращения звезды, либо за счет ненулевого эксцентриситета двойной системы. Проведено численное моделирование эволюции звезды в двойной системе с учетом обратного влияния компаньона

на звезду в зависимости от орбитальных параметров и показано, что тесная двойная система может находиться не только в синхронизованном, но также в несинхронизованном состоянии за время жизни звезды на главной последовательности. Данная модель применена к системе KIC 8736245. Ключевые слова: тесные двойные системы, приливные взаимодействия, асинхронные звезды, эволюция звезд DOI: 10.31857/S0004629921090024.

21.05-01.324 МГД модель взаимодействия коронального выброса массы с горячим юпитером HD 209458 b. Жилкин А.Г., Висикало Д.В., Колымагина Е.А. Астрон. ж. 2021. 98, № 8, с. 663-680. Рус.

Большинство горячих юпитеров обладают протяженными газовыми оболочками, выходящими за пределы их полостей Роша. Типичная оболочка гравитационно слабо связана с планетой и, следовательно, ее структура и свойства сильно подвержены влиянию возмущений звездного ветра, например, корональных выбросов массы. Ранее мы провели газодинамическое моделирование взаимодействия узконаправленного коронального выброса массы (КВМ) с оболочкой горячего юпитера HD 209458b. В этой работе исследуется влияние магнитного поля планеты и звездного ветра на структуру и динамику оболочки HD 209458b, подверженной воздействию такого же КВМ. Для этого разработана МГД модель взаимодействия КВМ с оболочкой. Предполагалось, что поле планеты имеет общепринятое значение и соответствует 1/10 магнитного момента Юпитера. Поле звезды предполагалось слабым (10^{-3} Гс), что обеспечивает сверх-альфвеновский режим обтекания планеты звездным ветром. Сравнение результатов МГД моделирования с газодинамическими расчетами показывает, что для использованных нами значений величины поля планеты и звезды влияние магнитного поля на оболочку не является определяющим и качественная картина течения не меняется. В то же время учет магнитных полей приводит к изменению количественных характеристик оболочки и темпа потери массы, что может иметь значение при определении эволюционного статуса экзопланеты. Ключевые слова: численное моделирование, магнитная гидродинамика (МГД), горячие юпитеры, корональные выбросы массы (КВМ) DOI: 10.31857/S0004629921090097.

21.05-01.325 Моделирование изотермического коллапса магнитных протозвездных облаков. Хайбраманов С.А., Дудоров А.Е., Каргальцева Н.С., Жилкин А.Г. Астрон. ж. 2021. 98, № 8, с. 681-693. Рус.

Исследуется коллапс магнитных протозвездных облаков с массой 10 и 1 M_{\odot} . Коллапс моделируется численно с использованием двумерного магнитогидродинамического (МГД) кода Epi1. Расчеты показывают, что к концу изотермической стадии коллапса протозвездные облака приобретают иерархическую структуру. Под действием электромагнитной силы протозвездное облако принимает форму сплюснутой оболочки с отношением полутолщины к радиусу $Z/R \sim 0.20-0.95$. Внутри этой оболочки образуется геометрически и оптически тонкий первичный диск с радиусом $(0.2-0.7)R_0$ и $Z/R \sim (10^{-2}-10^{-1})$, где R_0 — начальный радиус облака. Первичные диски — это структуры, находящиеся в квазимагнитостатическом равновесии. Они образуются в том случае, когда начальная магнитная энергия облака превышает 20% от гравитационной энергии. Масса первичных дисков составляет 30—80% от начальной массы облака. В центре первичного диска в дальнейшем образуется первое гидростатическое ядро. Обсуждаются роль первичных дисков в дальнейшей эволюции облака, а также возможные наблюдаемые проявления внутренней иерархии коллапсирующего облака с точки зрения особенностей геометрии магнитного поля и распределения углового момента на разных уровнях иерархии. Ключевые слова: магнитные поля, магнитная газодинамика (МГД), численное моделирование, звездообразование, межзвездная среда DOI: 10.31857/S0004629921090048.

21.05-01.326 О возможности наблюдения ряда радиолиний водорода в солнечных активных образованиях над пятнами. Дравских А.Ф., Дравских Ю.А. Астрон. ж. 2021. 98, № 8, с. 694-704. Рус.

Первая радиолиния в излучении Солнца, принадлежащая атомарному водороду, была теоретически обоснована Уайлдом в 1952 г. Ее зеemanовский профиль был рассчитан и надежно

установлен в излучении участков спокойного Солнца и активных образований над солнечными пятнами в 2018 г. по наблюдениям на радиотелескопе РАТАН-600. Это позволило определить ряд параметров областей, излучающих линию, и оценить магнитные поля в атмосфере Солнца. В работе мы рассчитываем зеemanовский профиль для еще двух радиолиний водорода и показываем, что они могут наблюдаться в активных образованиях над пятнами. Ключевые слова: солнечное радиоизлучение, спектр радиоизлучения активных образований над солнечными пятнами, зеemanовские профили солнечных водородных радиолиний, нейтральный водород над солнечными пятнами, перспективы наблюдения радиолиний в спектре Солнца DOI: 10.31857/S0004629921080041.

21.05-01.327 Три новые модели слоисто-неоднородных эллиптических галактик. Гасанов С.А. Астрон. ж. 2021. 98, № 9, с. 707-721. Рус.

Для решения некоторых задач небесной механики и астрофизики созданы три новые модели эллиптической галактики (ЭГ), хорошо согласующиеся с современными представлениями о строении таких галактик. На основе этих моделей определены ее полная гравитационная (потенциальная) энергия и кинетическая энергия вращения, дисперсия ее скоростей на расстоянии эффективного радиуса галактики. Предложен новый способ определения средних значений радиус-шкалы ЭГ, плотности в ее центре, а также среднего значения ключевого параметра плотности β и его значения, соответствующего эффективному радиусу галактики. Полученные результаты применены к шестидесяти ЭГ и приведены в виде таблиц для десяти галактик. Ключевые слова: эллиптическая галактика, новые модели эллиптических галактик, динамические параметры, гравитационная энергия, кинетическая энергия вращения DOI: 10.31857/S0004629921090036.

21.05-01.328 Сравнение орбитальных свойств шаровых скоплений Млечного Пути, полученных по данным каталогов Gaia DR2 и EDR3. Байкова А.Т., Бобылев В.В. Астрон. ж. 2021. 98, № 9, с. 722-739. Рус.

Приведены новые значения орбитальных параметров 152 шаровых скоплений, вычисленные с использованием новых средних собственных движений, полученных по данным каталога Gaia EDR3. Интегрирование орбит на 5 млрд. лет назад выполнено в осесимметричном трехкомпонентном потенциале со сферическим балджем, дисковым компонентом и сферическим темным гало в форме Наварро—Френка—Уайта, уточненным нами по кривой вращения объектов с большими галактоцентрическими расстояниями, вплоть до 200 кпк. Выполнено сравнение полученных орбитальных параметров с орбитальными параметрами тех же шаровых скоплений, вычисленными нами ранее в том же гравитационном потенциале с использованием собственных движений, полученных по данным каталога Gaia DR2. Выделены объекты, орбиты которых претерпели существенные изменения. Ключевые слова: шаровые скопления, Галактика (Млечный Путь) DOI: 10.31857/S0004629921090012.

21.05-01.329 Четверная двузатменная система BU CMi. Волков И.М., Кравцова А.С., Хохол Д. Астрон. ж. 2021. 98, № 9, с. 740-753. Рус.

Мы обнаружили, что известная спектрально-двойная переменная BU CMi = HD65241 ($V=6.4-6.7^m$, A0 V) состоит из двух затменных систем, каждая из которых обращается по эллиптической орбите с периодами $P_A=2.94^d$ ($e=0.20$), $P_B=3.26^d$ ($e=0.22$). Все четыре компонента обладают схожими размерами, температурами и массами, близкими к $M=3.1-3.4M_{\odot}$, соответствующими спектральному классу A0. Найдена возможная орбита обеих пар вокруг общего центра тяжести с периодом 6.6 года и эксцентриситетом $e=0.7$. В обеих системах наблюдается быстрое апсидальное вращение с периодами $U_A=25.4$ года и $R_1=26.3$ года. Каждая из внутренних орбит испытывает небольшие нутационные колебания в долготе периастра. Система является молодой и, возможно, находится только на пути к начальной главной последовательности (НГП). Фотометрический параллакс, вычисленный в соответствии с найденными параметрами, идеально совпадает со значением параллакса GAIA DR2 $\pi=0.00407 \pm 0.00006''$. Ключевые слова: двойные системы, звезды: фундаментальные параметры, звезды: звез-

да (BU CMi), методы: фотометрия, методы: лучевые скорости DOI: 10.31857/S0004629921090085.

21.05-01.330 Исследование спектральных характеристик и статистических свойств фликкер-шума рентгеновской новой A0620-00. Сажина О.С., Булыгин И.И., Черепашук А.М. Астрон. ж. 2021. 98, № 9, с. 754-779. Рус.

Представлены методологические исследования спектральных характеристик и статистический анализ фликкер-шума на примере двух выборок данных 2016–2017 гг. по рентгеновской новой A0620-00. Полученные результаты указывают на природу фликкер-шума как аperiodических явлений в звездных атмосферах и в областях взаимодействия звезд в двойных системах, в том числе явлений вспышечной природы. Показано, что фликкер-шум описывается распределениями неотрицательных случайных величин: гамма-распределением и распределением Вейбулла, что роднит его с атмосферными процессами в метеорологии, геологическими процессами (землетрясениями). Моделирование данных процессов показывает структурное соответствие реальным данным (диаграммы Херста), а также указывает на наличие дополнительных неучтенных шумов предположительно гауссовой природы. Проведенные исследования дают рекомендации дополнять модели кривых блеска двойных астрофизических систем гамма-распределением и распределением Вейбулла. Ключевые слова: фликкер-шум, статистический анализ, спектральный анализ, двойные системы, гамма-распределение, распределение Вейбулла DOI: 10.31857/S0004629921090061.

21.05-01.331 Эволюция комет. Тутуков А.В., Сизова М.Д., Верещагин С.В. Астрон. ж. 2021. 98, № 9, с. 780-792. Рус.

Кометы, выброшенные в облако Оорта планетами-гигантами в ходе образования и эволюции планетных систем, со временем под действием гравитации тех же планет могут вновь попасть на близкие к Солнцу орбиты. Испарение кометных ядер потоком солнечного излучения ведет к освобождению кометам твердого пылевого компонента. В статье рассмотрена численная модель превращения комет в пылевые потоки вдоль их орбит вокруг Солнца. Оценено время жизни пылевых потоков, возникающих вдоль орбит порождающих комет. Основной причиной рассеяния и хаотизации этих потоков служат, вероятно, массивные планеты. Аналогичную эволюцию имеют кометы и в других планетных системах с планетами-гигантами, отвечающими условию $m/M > r/a$, где m и M — массы планеты и звезды, r — радиус планеты, a — большая полуось ее орбиты вокруг звезды. Анализ взаимодействия объектов облака Оорта и Солнца с пролетающими звездами и звездными скоплениями приводит к выводу о вероятном ограничении размеров плотной части облака Оорта, оценка которой также приводится. Ключевые слова: Солнечная система, кометы, звезды, рассеянные звездные скопления.

21.05-01.332 Батарейный механизм Бирмана и структура начального магнитного поля в галактиках. Мизгайлов Е.А., Андреасян Р.Р. Астрон. ж. 2021. 98, № 10, с. 795-803. Рус.

В большом количестве галактик присутствуют регулярные магнитные поля с индукцией в несколько микрогаусс. Процесс их генерации объясняется за счет динамо, связанного со структурой движений межзвездной среды в соответствующих объектах. Рост магнитного поля происходит по экспоненциальному закону и стабилизируется при значениях, соответствующих равномерному распределению по энергии между магнитным полем и турбулентными движениями. Вместе с тем для начала действия данного механизма необходимо наличие некоторых начальных “затравочных” полей, которые не объясняются в рамках самой теории динамо. Одним из подходов, позволяющих объяснить наличие магнитных полей в галактиках, является так называемый батарейный механизм Бирмана. Он связан с потоками протонов и электронов из центральной части объекта, которые подхватываются вращательными движениями среды. Это приводит к возникновению круговых токов, которые ввиду отличающейся массы будут различаться для разных видов частиц. Суммарный ток оказывается ненулевым, порождая

магнитное поле. Ранее делались простые оценки величины данного поля. В настоящей работе построена самосогласованная модель и приведено интегральное уравнение, позволяющее не только определить порядок величины начального магнитного поля, но и детально исследовать его пространственную структуру. Ключевые слова: механизм Бирмана, магнитное поле, Галактика DOI: 10.31857/S000462992109005X.

21.05-01.333 Сравнительный анализ наблюдательных свойств быстрых радиовсплесков на частотах 111 и 1400 МГц. Федорова В.А., Родин А.Е. Астрон. ж. 2021. 98, № 10, с. 804-833. Рус.

Проведен сравнительный анализ наблюдательных характеристик быстрых радиовсплесков на частотах 111 и 1400 МГц. Построены распределения по мере дисперсии радиовсплесков. Показано, что на обеих частотах они описываются логнормальным распределением с параметрами $\mu=6.2$, $\sigma=0.7$. Также построена зависимость $\tau_{sc}(DM)$ величины рассеяния от меры дисперсии на 111 МГц и 1400 МГц. Показано, что эта зависимость принципиально отличается от зависимости для пульсаров. Сравнительный анализ взаимосвязи рассеяния импульсов от меры дисперсии на 1400 МГц и 111 МГц показал, что $\tau_{sc}(DM)$ для обеих частот имеет вид $\tau_{sc}(DM) \sim DM^k$, где $k=0.49 \pm 0.18$ и $k=0.43 \pm 0.15$ для частот 111 и 1400 МГц соответственно. Полученная зависимость объясняется в рамках предположения о внегалактическом возникновении быстрых радиовсплесков и практически равномерном распределении вещества в межгалактическом пространстве. Из зависимости $\tau_{sc}(DM)$ получена суммарная оценка вклада в DM вещества гало нашей и родительской галактики $DM_{halo} + DM_{halo}/1+z \approx 60$ пк/см³. На основе зависимости $\log N - \log S$ выведен средний спектральный индекс радиовсплесков $\alpha = -0.63 \pm 0.20$ при условии, что статистические свойства этих выборок на 111 и 1400 МГц одинаковы. Ключевые слова: быстрые радиовсплески, межзвездная среда, межгалактическая среда, модель рассеяния DOI: 10.31857/S0004629921100091.

21.05-01.334 Вариации пиковых плотностей потока индивидуальных импульсов 26 секундных пульсаров на частоте 111 МГц. Казанцев А.Н. Астрон. ж. 2021. 98, № 10, с. 834-848. Рус.

Приведены результаты обработки наблюдений 26 секундных пульсаров северного полушария, полученные в рамках поиска и исследования гигантских импульсов пульсаров на Большой синфазной антенне Пушчинской радиоастрономической обсерватории на 111 МГц. От пульсаров V0011+47, V0450+55, V0525+21, V0751+32, V0823+26 и V0917+63 были обнаружены индивидуальные импульсы, в 30 и более раз превосходящие динамический средний профиль по амплитуде. Обнаружены индивидуальные импульсы, удовлетворяющие основным критериям гигантских импульсов пульсаров от V0450+55, V0525+21 и V0751+32. Произведен анализ распределений индивидуальных импульсов пульсаров по пиковой плотности потока относительно средней плотности потока в сеансе. Из проанализированной выборки для 5 пульсаров распределение является логнормальным, для 10 — комбинацией логнормального и степенного распределений. В остальных случаях не может быть однозначно аппроксимировано только логнормальным распределением или комбинацией логнормального и степенного распределений. Ключевые слова: пульсары, радиоизлучение, индивидуальные импульсы, гигантские импульсы DOI: 10.31857/S0004629921100170.

21.05-01.335 Поиск периодического излучения у пяти гамма-пульсаров на частоте 111 МГц. Тюльбашев С.А., Китаева М.А., Тюльбашева Г.Э. Астрон. ж. 2021. 98, № 10, с. 849-855. Рус.

Проведен поиск пульсарного (периодического) излучения пяти гамма-пульсаров с использованием суммированных спектров мощности и суммированных периодограмм. Гармоник, соответствующих известным периодам пульсаров, не обнаружено. Получена верхняя оценка интегральной плотности потока пульсаров J0357+3205 (<0.5 мЯн), J0554+3107 (<0.5 мЯн), J1958+2846 (<0.5 мЯн), J2021+4026 (<0.4 мЯн), J2055+2539 (<0.55 мЯн). Ключевые слова: гамма-пульсар, радиоизлучение DOI: 10.31857/S0004629921100418.

21.05-01.336 Необычное затмение звезды типа UX Ori V719 Per. *Гринин В.П., Бурсунова О.Ю., Сергеев С.Г., Шугаров С.Ю., Федорова Е.И.* *Астрон. ж.* 2021. 98, № 10, с. 856-861. Рус.

Приводятся результаты новых фотометрических (VRI) наблюдений молодой звезды V719 Per из скопления IC 348. Они показывают, что вплоть до 2014 г. эта звезда демонстрировала переменность блеска, характерную для звезд типа UX Ori, т.е. обусловленную сильными флуктуациями околосредней экстинкции. В 2014 г. звезда ослабела примерно на 3 звездных величины в полосе I и это состояние пониженного блеска продолжалось до 2017 г. Есть основания предполагать, что затмение было вызвано возмущением в самых внутренних областях протопланетного диска звезды. Пыль, поднятая над диском, привела к блокированию излучения звезды, продолжавшемуся около трех лет. Обсуждается роль различных процессов в создании таких возмущений. Ключевые слова: молодые звезды, переменная околосредняя экстинкция, протопланетные диски, магнитосфера звезды, V719 Per DOI: 10.31857/S0004629921100145.

21.05-01.337 Кинетическая модель высыпания протонов солнечного ветра в атмосферу Марса. *Шематович В.И., Бисикало Д.В.* *Астрон. ж.* 2021. 98, № 10, с. 862-868. Рус.

Разработана кинетическая Монте-Карло модель воздействия потока протонов невозмущенного солнечного ветра на дневную атмосферу Марса. Впервые проведено самосогласованное моделирование деградации спектра протонов солнечного ветра в каскадном процессе перезарядки в протяженной водородной короне Марса, определены потоки энергии и энергетические спектры атомов водорода, проникающих в дневную верхнюю атмосферу через границу индуцированной магнитосферы. Полученные характеристики позволяют проводить расчеты авроральных протонных свечений, наблюдаемых в верхней атмосфере Марса при помощи спектрографа IUVIS на борту КА MAVEN. В наших последующих исследованиях будет выполнено сравнение результатов этих расчетов с наблюдениями, что предоставит уникальную возможность уточнения свойств атмосферы и магнитного поля Марса, а также расширяет способы определения параметров солнечного ветра. Ключевые слова: планетные атмосферы, полярные сияния, высыпание протонов солнечного ветра, кинетические эффекты DOI: 10.31857/S0004629921100376.

21.05-01.338 Наследие С. Б. Пикельнера и современная астрофизика. *Гершберг Р.Е.* *Астрон. ж.* 2021. 98, № 10, с. 869-872. Рус.

Дана биографическая справка о С.Б. Пикельнере, и кратко описаны его основные научные достижения. Статья основана на докладе, сделанном на конференции "Идеи С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана и современная астрофизика" (ГАИШ МГУ, 8–12 февраля 2021 г.). Ключевые слова: персоналии, С.Б. Пикельнер DOI: 10.31857/S000462992110011X.

21.05-01.339 Темп роста сверхмассивных черных дыр и его зависимость от массы звездного населения галактик в современную эпоху. *Прозоренко С.А., Сазонов С.Ю.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 8, с. 537-556. Рус.

21.05-01.340 Оценка радиальной и вертикальной шкал тонкого диска Галактики по цефеидам. *Бобылев В.В., Байкова А.Т.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 8, с. 557-567. Рус.

21.05-01.341 Поиск эволюционных изменений периодов бимодальной цефеиды TU Cas. *Бердников Л.Н., Пастухова Е.Н.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 8, с. 568-583. Рус.

21.05-01.342 Спектральная переменность компактной планетарной туманности Нб 12. *Иконникова Н.П., Шапошников И.А., Есинов В.Ф., Бурлак М.А., Архипова В.П., Додин А.В., Потанин С.А., Шатский Н.И.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 8, с. 584-605. Рус.

21.05-01.343 К вопросу о холловской неустойчивости в протозвездных дисках. *Захаров В.Ю., Черно-ва Т.Г.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 8, с. 606-610. Рус.

21.05-01.344 Рентгеновские наблюдения источников классических новых телескопом eРозита орбитальной обсерватории SRG в ходе обзора неба. *Галиуллин И.И., Гильфанов М.Р.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 613-633. Рус.

DOI: 10.31857/S0320010821090059.

21.05-01.345 Особенности трехмерной кинематики классических цефеид. *Бобылев В.В., Байкова А.Т.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 634-645. Рус.

DOI: 10.31857/S0320010821090011.

21.05-01.346 Структура релятивистских звезд, состоящих из несжимаемого вещества, в отсутствие строгой электронейтральности. *Крамарев Н.И., Юдин А.В.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 646-656. Рус.

DOI: 10.31857/S0320010821090060.

21.05-01.347 О рассеянии гигантских импульсов пульсара в Крабовидной туманности. *Ершов А.А.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 657-666. Рус.

DOI: 10.31857/S0320010821090047.

21.05-01.348 Уточненные эфемериды для четырех горячих юпитеров с использованием наземных наблюдений и наблюдений TESS. Refined Ephemeris for Four Hot Jupiters using Ground-Based and TESS Observations. *Davoudi F., Mirshafie Khozani P., Paki E., Roshana M., Hasheminasab F., Mazidabadi Farahani A., Ahangarani Farahani F., Farjadnia T., Nasrollahzadeh F., Rezvanpanah S., Mousavi S.M., Foroughi R., Poro A., Ghalee A.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 667-669. Англ.

DOI: 10.31857/S0320010821090035.

21.05-01.349 Родительские звезды планет на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. *Арсентьева А.А., Шевченко И.И.* *Письма в Астрон. ж.* 2021. 47, № 9, с. 670-680. Рус.

DOI: 10.31857/S0320010821080015.

21.05-01.350 Происхождение жизни в контексте неживой природы. *Фридман М.В., Намиот В.А.* *Биофизика.* 2021. 66, № 5, с. 1015-1017. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302921050215.

21.05-01.351 Гипотеза о физической природе феномена жизни (к дискуссии по статье Г.Р. Иваницкого «XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики»). *Смолович А.М.* *Биофизика.* 2021. 66, № 5, с. 1018-1021. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302921050227.

21.05-01.352 Почему не прекращаются дискуссии на тему: что такое жизнь с точки зрения физики (ответ на статью А.М. Смоловича «Гипотеза о физической природе феномена жизни»). *Иваницкий Г.Р.* *Биофизика.* 2021. 66, № 5, с. 1022-1029. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302921050239.

21.05-01.353 Естественно-научный и теологический подходы к пониманию того, как "устроена" существующая реальность. *Намиот В.А.* *Биофизика.* 2021. 66, № 5, с. 1030-1039. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302921050240.

21.05-01.354 О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности Земли в диапазоне периодов планетарных волн. *Рябова С.А., Шалимов С.Л.* *Физика Земли.* 2021, № 1, с. 51-60. Рус.

Работа посвящена анализу спектров геомагнитных вариаций, вычисленных в диапазонах периодов, близких к периодам планетарных волн: 5, 10 и 16 сут. Используются результаты регистрации геомагнитного поля на Геофизической обсерватории "Михнево" Института динамики геосфер РАН. Спектральное оценивание на основе параметрического подхода выполнено в зимний и летний периоды времени для 2009 г. (низкая солнечная активность) и 2015 г. (высокая солнечная активность). Впервые установлено, что гармоники, непосредственно связанные с проявлением атмосферных планетарных волн во всем

диапазоне 4—17 сут, наблюдаются только в зимний период, причем изменения атмосферного давления независимо от солнечной активности опережают изменения геомагнитного поля примерно на месяц. В спектрах вариаций геомагнитного поля в диапазоне 4—17 сут выделены гармоники 27-суточной геомагнитной периодичности и гармоники, связанные с модуляционным воздействием на них 11-летним циклом, годовой и полугодовой вариаций, а в спектрах в диапазоне периодов от 12 до 17 сут удалось идентифицировать гармоники с периодами, близкими к периодам приливных волн M_f и M_{sf} .

21.05-01.355 Гравитационные миссии следующего поколения для решения задач высокоточной космической гравиметрии. *Жамков А.С., Милоков В.К. Физика Земли.* 2021, № 2, с. 139-152. Рус.

Приводятся результаты анализа космических группировок, состоящих из двух пар космических аппаратов (далее КА), движущихся на разных орбитах — так называемых гравитационных миссий следующего поколения, в целях нахождения их оптимальных орбитальных параметров, удовлетворяющих требованиям высокого пространственного и временного разрешения гравитационного поля Земли. В результате численного моделирования были найдены элементы орбит КА, одновременно отвечающие требованиям наименьшего изменения межспутникового расстояния и наибольшей степени покрытия поверхности Земли подспутниковыми трассами КА. Оптимальные орбитальные параметры мультипарной группировки позволяют за 10-дневный интервал на 97% покрыть поверхность Земли подспутниковыми трассами с угловым разрешением $1 \times 1^\circ$, соответствующим степени разложения геопотенциала ≈ 200 , что в 4 раза больше в пространственном разрешении и в 3 раза больше во временном разрешении, чем при использовании только одной группировки типа “GRACE”.

21.05-01.356 Связь мультифрактальных и энтропийных свойств сейсмического шума на Камчатке с неравномерностью вращения Земли. *Любушин А.А., Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К. Физика Земли.* 2021, № 2, с. 153-163. Рус.

Исследуется связь свойств сейсмического шума, непрерывно регистрируемого на сети из 21 широкополосной сейсмической станции на Камчатке в течение 9 лет наблюдений, 2011—2019 гг., с неравномерностью вращения Земли. Рассматриваются ежесуточные временные ряды медианных значений, вычисленных по всем станциям сети, трех параметров шума: ширины носителя мультифрактального спектра сингулярности, обобщенного показателя Херста и минимальной энтропии распределения квадратов ортогональных вейвлет-коэффициентов. Для выделения общих составляющих вариаций этих параметров вычислялась их адаптивная первая главная компонента в полугодовом скользящем временном окне. Вычислялся квадратичный спектр когерентности между первой главной компонентой свойств сейсмического шума и временным рядом длины дня в скользящем временном окне длиной 182 сут. Рассматривалась частотно-временная диаграмма спектра когерентности, которая характеризуется последовательностью всплесков когерентности, сконцентрированных в узкой частотной полосе с периодами от 11 до 14 сут. Оцениваются временные задержки между всплесками когерентности и выделением сейсмической энергии на Камчатке в скользящем временном окне длиной 5 лет.

21.05-01.357 Комментарий к статье А.А. Любушина, Г.Н. Копыловой, Ю.К. Серафимовой "Связь мультифрактальных и энтропийных свойств сейсмического шума на Камчатке с неравномерностью вращения Земли". *Салтыков В.А. Физика Земли.* 2021, № 2, с. 164-166. Рус.

В комментарии к статье рассматривается проблема кондиционности исходных сейсмологических данных нестандартного низкочастотного диапазона с точки зрения метрологии, а также ставится под сомнение обоснованность получаемых результатов. Последний аспект связывается с полным отсутствием в работе А.А. Любушина с соавторами оценок доверительных интервалов в рассчитываемых статистиках, что не соответствует общепринятым подходам к представлению результатов обра-

ботки экспериментальных данных. Без проведения таких оценок авторами был сделан необоснованный вывод о коррелированности процессов и, как следствие, о триггерном воздействии неравномерности вращения Земли на сейсмический процесс.

21.05-01.358 Ответ на замечания В.А. Салтыкова к статье А.А. Любушина, Г.Н. Копыловой, Ю.К. Серафимовой "Связь мультифрактальных и энтропийных свойств сейсмического шума на Камчатке с неравномерностью вращения Земли". *Любушин А.А., Копылова Г.Н. Физика Земли.* 2021, № 2, с. 167-170. Рус.

DOI: 10.31857/S0002333721020058.

21.05-01.359 Анализ методов оценки энергии источников акустико-гравитационных волн в атмосфере Земли. *Рыбнов Ю.С., Стивак А.А., Харламов В.А. Физика Земли.* 2021, № 5, с. 202-209. Рус.

Приводится сравнительный анализ подходов и методов оценки энергии источников акустико-гравитационных волн в атмосфере Земли на основе результатов их регистрации. Рассмотрен ряд известных зависимостей между параметрами зарегистрированных инфразвуковых сигналов и энергией источника. Обсуждается феноменологическая модель распространения инфразвуковых сигналов от мощных взрывных источников в стратосферном волноводе. На основе модели с учетом принципа энергетического подобия спектров акустико-гравитационных волн разработан новый подход к определению энергии источника, в котором в качестве определяющего параметра выбрана преимущественная частота распространяющегося в атмосфере сигнала. Показано, что результаты теоретических оценок энергии источника, выполненных с использованием разработанного подхода, согласуются с данными инструментальных наблюдений. Определены погрешности оценки энергии источников акустико-гравитационных волн при использовании известных и разработанного подходов.

21.05-01.360 Характерные особенности солнечных космических лучей в 21—24-м циклах солнечной активности по данным каталогов солнечных протонных событий. *Базилевская Г.А., Дайбог Е.И., Логачев Ю.И., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Ишков В.Н., Лазутин Л.Л., Нгуен М.Д., Сузова Г.М., Яковчук О.С. Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 1, с. 8-15. Рус.

Рассмотрены однородные ряды событий солнечных космических лучей за 4 цикла солнечной активности на фоне ее уменьшения в циклах 23 и 24. Число событий солнечных космических лучей с энергией выше 10 МэВ уменьшилось незначительно, тогда как число наземных возрастаний при сравнении циклов 23 и 24 снизилось в 8 раз. Показано, что при переходе от цикла 23 к циклу 24 средний вклад вспышек в генерацию наземных возрастаний уменьшился в 3 раза, а средний вклад корональных выбросов вещества — в 5 раз; средний вклад вспышек в генерацию солнечных космических лучей с энергией > 10 МэВ уменьшился в 1,3 раза, а средний вклад корональных выбросов вещества — возрос в 1,4 раза.

21.05-01.361 Суточные и долготные вариации экваториальной аномалии для зимнего солнцестояния по данным ИСЗ Интеркосмос-19. *Карпачев А.Т. Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 1, с. 20-34. Рус.

По данным внешнего зондирования ионосферы со спутника Интеркосмос-19 для высокой солнечной активности исследована динамика экваториальной аномалии в период зимнего солнцестояния. Статья является завершающей работой по построению картины вариаций экваториальной аномалии в условиях высокой солнечной активности. Детально рассмотрены изменения структуры экваториальной аномалии с местным временем и долготой. Показано, что аномалия начинает формироваться с ~ 08 LT при образовании зимнего северного гребня, но хорошо развитая экваториальная аномалия формируется только к 10—11 LT. Дневной максимум развития экваториальной аномалии достигается в 12 LT. Величина $foF2$ над экватором и степень развития экваториальной аномалии (ЕА1) в 12 LT изменяются с долготой согласно изменениям скорости вертикального дрейфа плазмы W . В долготных вариациях W , $foF2$ и ЕА1 в это время наблюдаются 3 гармоники. Через 1.5—2.0 ч после вечернего всплеска W , величина ЕА1 возрастает до су-

точного максимума. Долготные вариации $foF2$ в 20 LT также связаны с соответствующими вариациями W , в которых проявляются две гармоники. Степень развития экваториальной аномалии после вечернего максимума падает, но еще в полночь она хорошо развита. Аномалия полностью отсутствует в период 05—07 LT. Степень развития экваториальная аномалия в разные моменты местного времени довольно сильно различается в разных долготных секторах. Среднее положение северного гребня днем $\sim 25^\circ$ геомагнитного наклонения I , южного $\sim 30^\circ$ I , днем зимний гребень больше летнего, ночью наоборот. Таким образом, в период зимнего солнцестояния хорошо выраженная экваториальная аномалия наблюдается с 10—11 до 00—02 LT.

21.05-01.362 Прогноз квазистационарных и транзитных потоков солнечного ветра по данным наблюдений С ольнца в 2010 г. Шугай Ю.С., Капорцева К.В. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 2, с. 148-159. Рус.

Представлены результаты прогноза скорости квазистационарных и транзитных потоков солнечного ветра за период с мая по декабрь 2010 года. Скорость квазистационарных потоков солнечного ветра на околоземной орбите рассчитывались с помощью эмпирической модели на основе анализа изображений солнечной короны, полученных в вакуумном ультрафиолете. Скорость и время прихода межпланетных корональных выбросов масс прогнозировались *Drag Based*-моделью. Результаты прогноза скорости квазистационарных потоков солнечного ветра использовались в качестве параметра среды, по которой распространяются и с которой взаимодействуют транзитные потоки. За период май—декабрь 2010 года было отобрано 94 корональных выброса масс из баз данных, пополняющихся в режиме близком к реальному времени. Анализ результатов прогноза показал, что у 67% из отобранных межпланетных корональных выбросов масс спрогнозированная скорость была менее 400 км/с, а 96% из них связаны со спокойной геомагнитной обстановкой ($Dst > -30$ нТл). Добавление прогноза межпланетных корональных выбросов масс к прогнозу квазистационарных потоков солнечного ветра улучшает качество прогноза. За период с мая по декабрь 2010 года среднеквадратичное отклонение между измеренными на космическом аппарате *ACE* и спрогнозированными скоростями потоков солнечного ветра с учетом как квазистационарных, так и транзитных потоков, получено равным 82 км/с, а коэффициент корреляции — 0,6.

21.05-01.363 Проявление вариаций солнечного рентгеновского излучения в вертикальной компоненте электрического поля в озере Байкал. Коротяев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О., Орезова Д.А., Миргазов Р.Р., Киктенко Е.О. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 2, с. 211-217. Рус.

Продолжен анализ, начатый в предыдущих работах автора, связи между наиболее часто используемым индексом солнечной активности $F10.7$ и индексами солнечной активности ($Ly-\alpha$, Rz и $Mg II$), отражающими вариации ультрафиолетового излучения Солнца, которое определяет поведение основных ионосферных слоев. Показано, что связи между $F10.7$ и указанными тремя индексами близки между собой в 22-м и 23-м циклах активности. Однако в 24-м цикле они отличаются от таковых в двух предыдущих циклах и менее значимы статистически. Для одних и тех же значений индексов $Ly-\alpha$, Rz и $Mg II$ величины $F10.7$ меньше в 24-м цикле, чем в двух предыдущих циклах. Это объясняет полученный ранее результат, что использование индекса $F10.7$ без коррекции при анализе поведения $foF2$ и $hmF2$ в 24-м цикле приводит к положительным трендам, которые противоречат современным представлениям об охлаждении и оседании верхней атмосферы. Предложена коррекция $F10.7$ тремя указанными индексами для вычисления ионосферных трендов.

21.05-01.364 Индексы солнечной активности в 24-м цикле и поведение слоя F2 ионосферы. Данилов А.Д. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 2, с. 218-223. Рус.

DOI: 10.31857/S001679402102005X.

21.05-01.365 Зависимость локального индекса годовой асимметрии для NMF2 от солнечной активности. Демин М.Г., Демин Г.Ф. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 2, с. 224-231. Рус.

21.05-01.366 Лунные приливы в области мезопаузы

по данным о летней температуре излучающего гидроксила. Перцев Н.Н., Далин П.А., Перминов В.И. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 2, с. 259-266. Рус.

Летняя область мезопаузы (высоты 82—92 км), самое холодное место в земной атмосфере, подвержена влиянию внешних воздействий, включая лунные. В настоящей работе гармоники лунных приливов выделяются из рядов температуры излучающего слоя гидроксила (OH^*), полученных из спектрофотометрических измерений на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН в летние сезоны 2000—2016 гг. Температуры OH^* являются средневзвешенными в слое толщиной ~ 9 км, имеющего максимум на высоте ~ 87 км. Анализ позволил выделить лунные колебания, среди которых две гармоники идентифицируются впервые в температуре области мезопаузы. Данные колебания распознаются как вторая гармоника аномалистического прилива (средний период ~ 13.78 сут), а также лунный прилив с периодом в 8 ч 17 мин или в альтернативной интерпретации — третья гармоника лунного синодического месяца (~ 9.84 сут).

21.05-01.367 Детектирование области повышенной турбулентности сверхкороны Солнца с использованием спутников Venus express и Mars Express. Ефимов А.И., Луканина Л.А., Смирнов В.М., Чашей И.В., Бёрд М.К., Петцольд М. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 3, с. 275-281. Рус.

Проведенные в период с 6 октября по 6 декабря 2006 г. эксперименты по радиозондированию околоземной плазмы сигналами космических аппаратов Venus Express и Mars Express позволили получить данные о флуктуациях частоты радиосигналов для западного и восточного лимбов солнечной короны. В результате обработки данных измерений получены сведения об интенсивности частотных флуктуаций, которые обусловлены влиянием движущейся турбулентной плазмы. На фоне плавной радиальной зависимости отмечены сильные возрастания интенсивности флуктуаций частоты, которые могут быть объяснены прохождением через трассу радиосвязи сжатой части короткого возмущения. Временное запаздывание этих событий свидетельствует о связи высокого уровня флуктуаций частоты зондирующих плазму радиосигналов с одной и той же областью солнечной короны.

21.05-01.368 Гелиосферное магнитное поле и модель Паркера. Свиржевский Н.С., Базилевская Г.А., Калинин М.С., Крайнев М.Б., Маамутов В.С., Свиржевская А.К., Стожков Ю.И. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 3, с. 282-294. Рус.

В паркерской модели гелиосферного магнитного поля отношение азимутальной компоненты поля B_φ к радиальной компоненте B_r зависит только от радиальной скорости v солнечного ветра и координат точки наблюдения (r, θ) : $B_\varphi/B_r = -\omega r \sin \theta / v$ (на расстоянии от Солнца $r > 1$ а. е.). Мы проверили это соотношение вблизи эклиптики на радиальных расстояниях до 19 а. е. по данным космических аппаратов VOYAGER 1, VOYAGER 2 и ULYSSES и вне эклиптики по данным ULYSSES. Показано, что предсказания паркерской модели хорошо согласуются с наблюдениями вне секторных зон в периоды времени, близкие к минимумам солнечной активности. В пределах секторных зон и в периоды максимумов солнечной активности существуют значительные расхождения между данными наблюдений и предсказаниями этой модели.

21.05-01.369 Цикличность солнечной активности, реконструированной из статистики полярных сияний с учетом вклада главного магнитного поля Земли, 1000—2000 гг. Птицына Н.Г., Демина И.М. Геомагнетизм и аэрономия. 2021. 61, № 3, с. 295-308. Рус.

Мы рассмотрели методом вейвлет-анализа цикличность солнечной активности, реконструированной на базе числа полярных сияний, наблюдавшихся на средних и низких широтах в 1000—1700 гг. На движение космических частиц, которые вызывают полярные сияния, оказывают влияние вариации магнитного момента Земли. Это влияние было учтено нами при реконструкции солнечной активности на основе вариаций ряда числа полярных сияний. Анализ проводился для объединенного ряда — реконструированного ряда солнечных пятен SN (1000—1700

гг.) и современного ряда SN (1700—2000 гг.). В спектре SN получено наличие двух доминирующих составляющих: околосолнечного цикла Глейсберга, состоящего из двух мод с периодами 60—80 и 90—140 лет и околосолнечного цикла Зюсса. В результате учета вклада магнитного момента амплитуды периодов группы Глейсберга в спектре SN усиливаются по сравнению с исходным спектром числа полярных сияний и по интенсивности приближаются к интенсивности вариации Зюсса. Анализ изменения амплитуд и периодов всех циклов показал наличие длинноволновой модуляции с возможным периодом от 1300 до 1700 лет. Для циклов Глейсберга выявлена также частотная модуляция с периодом 216 лет, циклом Зюсса. Мы полагаем, что ~200-летняя составляющая имеет внесолнечную природу и может отражать результат дублирования основной частоты (11 и 22-летних циклов) на кратных модах модулятора.

21.05-01.370 Ионный форшок околосолнечной ударной волны: теоретическая модель и наблюдательные данные. *Кичигин Г.Н.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 3, с. 309-315. Рус.

Рассматриваются процессы, связанные с образованием перед фронтом околосолнечной бесстолкновительной ударной волны так называемой форшок-области. В рамках предлагаемой теоретической модели показано, что в рампе фронта ударной волны происходит ускорение ионов до значительных энергий. Выясняются физические условия, при которых эти ускоренные в ударном фронте ионы в итоге оказываются перед фронтом ударной волны и удаляются от него, вследствие чего их иногда относят к категории отраженных ионов. Делается вывод о том, что именно эта популяция отраженных энергичных ионов (чаще всего их называют “продольными пучками” — field-aligned beams) играет основную роль в формировании границы ионного форшока. Основные свойства продольных пучков, следующие из рассматриваемой модели, сравниваются с наблюдательными данными, полученными с помощью космических аппаратов.

21.05-01.371 Планетарные вариации высоты максимума слоя F_2 в периоды ионосферных возмущений. *Сергеенко Н.П., Делуева А.Х.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 3, с. 336-346. Рус.

DOI: 10.31857/S0016794021030159.

21.05-01.372 Зависимость годовой асимметрии в NMF_2 от геомагнитной широты и солнечной активности. *Демин М.Г., Шубин В.Н., Демин Р.Г.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 3, с. 347-353. Рус.

DOI: 10.31857/S0016794021030032.

21.05-01.373 Нелинейная зависимость потока излучения Солнца от чисел Вольфа и ее различия для разных 11-летних циклов. *Липухов А.И., Липухов В.А.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 5, с. 547-554. Рус.

Установлена статистическая нелинейная немонокотонная зависимость среднесуточных величин солнечной “постоянной” от суточных чисел Вольфа. Предложен физический механизм этой нелинейной зависимости. Показано, что поток излучения Солнца для 11-летних циклов с высокой и низкой активностью существенно различны и, кроме того, он выше на фазе роста, чем на фазе спада цикла. Эти особенности надо учитывать при восстановлении солнечной “постоянной” на основе суточных чисел Вольфа.

21.05-01.374 Эволюция магнитных полей пятен по измерениям на телескопе БСТ-2 КраО РАН в 24-ом цикле солнечной активности. *Цап Ю.Т., Климорин Н.И., Азтемов З.С., Малащук В.М.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 5, с. 555-559. Рус.

На основе многолетних спектральных наблюдений расщепления зеемановских компонент линии FeI 630.2 нм, проводимых на Башенном солнечном телескопе БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории, исследована эволюция усредненных значений магнитного поля солнечных пятен с напряженностью ≥ 1500 Гс за период с 2010 по 2018 г. (всего 4771 измерение). Обнаружено, что в отличие от чисел Вольфа, усредненное магнитное поле пятен со временем существенно не меняется. Более того, оно очень слабо возрастает и достигает максимума к

концу 24-го цикла активности Солнца. Полученные результаты свидетельствуют в пользу важной роли “отрицательного” магнитного давления в формировании пятен на малых глубинах вблизи поверхности Солнца.

21.05-01.375 Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны. *Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 5, с. 560-571. Рус.

По данным плазменного спектрометра БМСВ, установленного на космическом аппарате СПЕКТР-Р, была исследована структура течения плазмы солнечного ветра за рампом межпланетной ударной волны. Особое внимание было уделено области овершута, в которой наблюдаются коррелированные, затухающие при удалении от рампа колебания потока ионов и магнитного поля, сформированные двумя популяциями ионов: втекающим солнечным ветром и пучком отраженных ионов. На основании анализа 26 пересечений фронтов межпланетных ударных волн, в которых наблюдались овершуты в величине потока ионов и магнитного поля, было показано, что овершуты образуются не только у сверхкритических ударных волн, но и у тех, у которых числа Маха меньше или приближаются к значению первого критического числа Маха. Получено, что на формирование и величину амплитуды овершута в структуре фронта ударной волны оказывают существенное влияние угол между нормалью к фронту ударной волны и вектором магнитным полем перед фронтом, число Маха, магнитная и плазменная компрессия на фронте волны. Установлено, что длина волны колебаний, определенная по измерениям магнитного поля на космическом аппарате WIND, в среднем, совпадает с длиной волны колебаний, определенной по потоку ионов на космическом аппарате СПЕКТР-Р, а пространственные масштабы областей затухания колебаний могут сильно различаться.

21.05-01.376 Форбуш-эффекты, созданные выбросами солнечного вещества с магнитными облаками. *Абунина М.А., Белов А.В., Шлык Н.С., Ерошенко Е.А., Абунин А.А., Оленева В.А., Прямушкина И.И., Янке В.Г.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 5, с. 572-582. Рус.

Изучается влияние магнитных облаков на вариации плотности космических лучей, регистрируемые нейтронными мониторами. Из данных о 252 Форбуш-эффектах, обусловленных межпланетными возмущениями, содержащими магнитные облака, выделяются статистические закономерности и характерные особенности таких событий. Обсуждается поведение основных параметров солнечного ветра, космических лучей и геомагнитной активности во время прохождения магнитных облаков мимо Земли, а также характерные особенности внутренней структуры магнитных облаков. Было показано, что вариации космических лучей тесно связаны с максимальными параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля внутри магнитных облаков. Установлено, что по распределению времени максимальных параметров солнечного ветра чаще всего максимальная скорость внутри магнитного облака регистрируется в начале, а максимальное значение межпланетного магнитного поля — как в начале, так и в середине события. Также получено, что существует достаточно тесная корреляция вариаций плотности космических лучей в магнитном облаке с его размером, выраженным в гирорадиусах.

21.05-01.377 Пространственные масштабы сверхтонких токовых слоев по наблюдениям спутников MMS в хвосте магнитосферы Земли. *Леоненко М.В., Григоренко Е.Е., Зеленый Л.М.* *Геомагнетизм и астрономия.* 2021. 61, № 5, с. 583-591. Рус.

Выполнено исследование магнитной конфигурации и определены пространственные размеры сверхтонких токовых слоев, наблюдаемых спутниками MMS в хвосте магнитосферы Земли во время прохождения быстрого плазменного потока направленного от Земли. Предложен новый метод определения пространственных размеров сверхтонких токовых слоев, используя четырехточечные измерения магнитного поля спутниками MMS в быстрой моде. Установлено, что во многих случаях пространственные размеры сверхтонких токовых слоев составля-

ют всего несколько (1–5) гирорадиусов тепловых электронов. Примерно 70% плотности тока в таких слоях переносится электронами, а величина плотности тока в несколько раз превышает величину ионной плотности тока в токовом слое.

21.05-01.378 Развитие турбулентного каскада за околоземной ударной волной при спокойных условиях в солнечном ветре. *Рахманова Л.С., Рязанцева М.О., Застенжер Г.Н., Ермолаев Ю.И.* *Геомагнетизм и аэронавтика.* 2021. 61, № 5, с. 592-598. Рус.

Пересечение солнечным ветром околоземной ударной волны в ряде случаев приводит к существенным изменениям в развитии турбулентного каскада. Отдельные случаи, исследованные ранее на основе экспериментальных измерений характеристик турбулентности в магнитослое, пока не дали ответа на вопрос, какие факторы оказывают наибольшее влияние на модификацию турбулентного каскада за околоземной ударной волной. В настоящей работе рассмотрены несколько случаев регистрации спектров сжимаемой компоненты флуктуаций в магнитослое на двух разнесенных в пространстве спутниках при спокойных условиях в солнечном ветре, что позволяет оценить влияние границ магнитослоя и топологии ударной волны на динамику турбулентного каскада при движении плазмы за околоземной ударной волной. Показано, что непосредственно за квази-перпендикулярной ударной волной в дневной части магнитослоя происходит существенное перераспределение энергии в турбулентном каскаде, затрагивающее магнитогидродинамические масштабы, при этом при дальнейшем распространении плазмы в сторону флангов свойства каскада восстанавливаются. В то же время, за квази-параллельной ударной волной изменения характеристик турбулентного каскада при входе плазмы в магнитослой происходят только на субионных масштабах.

21.05-01.379 Особенности проявления реакции полного электронного содержания ионосферы на кольцеобразное солнечное затмение 21 июня 2020 г. *Шагмуратов И.И., Захаренкова И.Е., Тепеницына Н.Ю., Якимова Г.А., Ефимов И.И.* *Геомагнетизм и аэронавтика.* 2021. 61, № 5, с. 654-660. Рус.

Проведен анализ проявлений кольцеобразного солнечного затмения 21 июня 2020 г. в вариациях полного электронного содержания ионосферы (TEC) на основе GPS-наблюдений сети IGS Китая. Отмечено, что эффекты кольцеобразного затмения в ионосфере изучены гораздо меньше эффектов полного или частичного солнечного затмения. На основе анализа точных вариаций TEC на отдельных станциях получено, что эффект данного затмения проявился в форме депрессии этого параметра с минимумом, близким к моменту максимальной фазы затмения над станцией наблюдения. Более ярко проявился эффект затмения в вариациях TEC ионосферы вдоль индивидуальных пролетов спутников, который имел вид ложбинообразного понижения. Показано, что основной составляющей в падении и задержке минимума TEC относительно максимальной фазы затмения является величина магнитуды затмения для конкретной станции. Это следует из высокой корреляции между этими параметрами и магнитудой затмения. Задержка варьируется от нескольких минут до десятков минут в зависимости от величины магнитуды затмения. Максимальная амплитуда падения TEC достигала ~4–6 TECU. Для анализа пространственно-временного поведения TEC использованы IONEX-файлы с 15-минутным разрешением. Выявлено, что движение максимальной депрессии TEC согласуется с траекторией движения и положением тени затмения на поверхности Земли.

21.05-01.380 Статистические связи между солнечными космическими лучами, радиоизлучением II типа и корональными выбросами массы. *Вазилевская Г.А., Логачёв Ю.И., Дайбог Е.И., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Ишков В.Н., Лазутин Л.Л., Нгуен М.Д., Сурова Г.М., Яковчук О.С.* *Геомагнетизм и аэронавтика.* 2021. 61, № 5, с. 672-679. Рус.

Радиоизлучение II типа часто сопровождает события в солнечных космических лучах и является индикатором распространения ударной волны в короне Солнца. С другой стороны, важную роль в ускорении солнечных протонов играет удар-

ная волна, связанная с выбросами коронального вещества. Оба эти явления могут происходить без сопровождения солнечными космическими лучами, в то же время не все события солнечных космических лучей сопровождаются радиоизлучением II типа. Статистические связи между этими явлениями рассмотрены на базе Каталогов солнечных протонных событий 23 и 24-го циклов солнечной активности. Показано, что события солнечных космических лучей, сопровождаемые радиоизлучением II типа, относятся к наиболее мощным как по характеристикам частиц, так и по характеристикам источников.

21.05-01.381 Оценка возмущающих ускорений, воздействующих на космическую гравитационную волновую антенну SOIGA-2. *Карауш Е.А., Давлатов Р.А., Донченко С.С., Гостев Ю.В., Соколов Д.А., Лавров Е.А., Харламов П.Г.* *Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2020. 63, № 10, с. 907-920. Рус.

Российская гравитационная волновая антенна (ГВА) SOIGA-2 представляет собой созвездие космических аппаратов (КА): по четыре на каждой орбите ГЛОНАСС в вершинах квадрата. Проанализированы возмущающие силы, воздействующие на КА SOIGA-2. Оценены возмущающие ускорения гравитационной и негравитационной природы. Приведены требования к максимальному уровню возмущающих ускорений, при которых возможно детектирование гравитационных волн. Предложены способ компенсации сил негравитационной природы с помощью системы спутника свободного от сноса и метод учета сил гравитационной природы путем их предварительного расчета.

21.05-01.382 Исследование процессов ускорения заряженных частиц в турбулентной космической плазме с перемежаемостью. *Левашов Н.Н., Попов В.Ю., Малова Х.В., Зеленый Л.М.* *Ученые записки физического факультета МГУ.* 2021, № 4, с. 2140802_1-2140802_6. Рус.

Представлен результат численного эксперимента по ускорению заряженных частиц в турбулентном поле с различными уровнями перемежаемости. Нашей главной задачей было исследовать влияние перемежаемости на ускорение частиц в турбулентной космической плазме. Для этого была разработана трехмерная модель турбулентного поля с контролируемым уровнем перемежаемости. Перемежаемое электромагнитное поле моделируется как суперпозиция турбулентного электромагнитного поля со степенным спектром, полученного при помощи суммы фурье гармоник и электромагнитного поля, создаваемого небольшими плазмоидами, амплитуды которых заданы при помощи специального распределения. При помощи данной модели исследовалось влияние перемежаемости на процессы ускорения заряженных частиц в турбулентном поле в хвосте магнитосферы. Показано, что чем выше уровень перемежаемости, тем больших значений энергии способны достигнуть отдельные частицы.

21.05-01.383 Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности спутника Марса — Деймоса. *Голубь А.П., Попель С.И.* *Физика плазмы.* 2021. 47, № 8, с. 741-747. Рус.

Обсуждается формирование пылевой плазмы за счет фотоэлектрических и электростатических процессов в приповерхностном слое над освещенной частью спутника Марса — Деймоса. На основе физико-математической модели для самосогласованного описания концентраций фотоэлектронов и пылевых частиц над поверхностью освещенной части Деймоса определены параметры, характеризующие траектории движения пылевых частиц. Показано, что затухание колебаний пылевой частицы над поверхностью спутника Марса связано с вариациями ее заряда, что согласуется с представлениями об аномальной диссипации, природа которой вытекает из процессов, связанных с вариацией зарядов пылевых частиц. Продемонстрировано, что для большинства пылевых частиц, поднимающихся над поверхностью Деймоса из-за фотоэлектрических и электростатических процессов, время затухания их колебаний оказывается большим продолжительности светлого времени суток, т.е. нестационарность плазменно-пылевой системы над освещенной частью поверхности Деймоса проявляется практически в течение всей продолжительности дня на нем. Определены максимальные значения высоты подъе-

ма пылевых частиц и зарядового числа, которые могут быть достигнуты пылевыми частицами разных размеров, а также приведена оценка типичных концентраций пылевых частиц и фотоэлектронов над Деймосом. Для получения более определенных данных о параметрах плазменно-пылевой системы в окрестности Деймоса необходима более детальная информация о свойствах его грунта, которая, как ожидается, будет получена в будущих космических миссиях. Ключевые слова: пылевая плазма, система Марса, Деймос, затухание колебаний пылевых частиц, нестационарность, будущие космические миссии DOI: 10.31857/S0367292121070088.

21.05-01.384 Альберт Галеев: проблема метастабильности и взрывного пересоединения. Зелёный Л.М., Малова Х.В., Попов В.Ю., Григоренко Е.Е., Buchner J. Физика плазмы. 2021. 47, № 9, с. 771-792. Рус.

Альберт Абубакирович Галеев, советский и российский специалист по физике плазмы, активно занимавшийся исследованиями в области УТС, в начале 1970-х годов, став заведующим отделом ИКИ АН СССР, начал уделять основное внимание проблемам физики космической плазмы и внес важнейший вклад в решение многих из них. Среди них физика бесстолкновительных ударных волн, явление аномальной ионизации, процессы в плазменных оболочках комет и многое другое. Наша статья посвящена лишь одному из многочисленных направлений его работы: исследованиям токовых слоев и происходящих в них процессах магнитного пересоединения. Исследование тонких токовых структур в космической плазме, с толщинами порядка протонных гирорадиусов, положено пионерскими работами С.И. Сыроватского, Т. Спейсера и других выдающихся ученых, предположивших, что в космической плазме существуют пограничные тонкие токовые слои, играющие ключевую роль в динамике магнитосферы Земли и короны Солнца. Развитие этих работ диктовалось необходимостью объяснить вспышки на Солнце и магнитосферные возмущения, при которых фазы эволюционного развития сменяются взрывными, спонтанными процессами с высвобождением свободной энергии. Один из ключевых физических процессов — пересоединение магнитных полей — реализуется в природе как элемент общей проблемы создания и эволюции ТС. В своей серии работ, начатой в 1975 г. публикацией в “Письмах ЖЭТФ” статьи (совместно с Л.М. Зеленым) “Метастабильные состояния диффузного нейтрального слоя”, А.А. Галеев исследовал устойчивость токовых слоев к разрывной тиринг-моду, изучил динамику магнитного пересоединения на границах планетных магнитосфер, объяснил процессы генерации быстрых ионных потоков с энергиями в несколько МэВ в хвосте магнитосферы Земли. В настоящей статье обсуждается дальнейшее развитие этих работ, в свое время инициированное А.А. Галеевым. Представлена новая модель вложенного токового слоя с внутренним сверхтонким электронным слоем и двумя внешними токовыми слоями с носителями тока — протонами и ионами кислорода. Показано, что свободная энергия такой вложенной структуры в соответствующей области параметров значительно превышает свободную энергию хорошо известной конфигурации Харриса. Это позволяет одновременно объяснить и их устойчивость (до определенного предела), и дестабилизацию при достижении параметрами ТС некоторых критических значений, что ведет к изменению топологии магнитного поля и началу процессов макроскопического пересоединения. Ключевые слова: Альберт Галеев, космическая плазма, токовые слои, метастабильность, неустойчивость, магнитное пересоединение DOI: 10.31857/S0367292121090092.

21.05-01.385 Собственные гравитационные моды, поддерживаемые полем двойной черной дыры на стадии ее приближения к коллапсу. Corpi V. Физика плазмы. 2021. 47, № 9, с. 793-800. Рус.

На стадии приближения двойной черной дыры к гравитационному коллапсу обнаружены собственные гравитационные моды (Intrinsic Gravitational Modes, IGM), вызывающие флуктуации электромагнитного поля, которые поддерживаются ее трехмерным переменным гравитационным полем. Эти моды, представляющие собой колебания поверхности дисковой плазменной структуры, модулированной в радиальном направлении (“disk-rippling” mode), которая окружает двойную черную дыру. В “вертикальном” направлении (по отношению к вектору уг-

лового момента двойной системы) амплитудные профили этих мод соответствуют баллонным модам. В предельном случае, когда их фазовая скорость не превышает скорости света, они вращаются преимущественно с частотой, представляющей собой удвоенную частоту вращения двойной системы. Вследствие характерных резонансных взаимодействий волна—частица (В. Corpi, Plasma Phys. Rep. 45, 438 (2019)) могут возникнуть условия для передачи энергии от популяции частиц высоких энергий к низкоэнергетической популяции (существование таких процессов подтверждено лабораторными экспериментами). С привлечением таких процессов можно предложить объяснение тому, что на стадии приближения двойной черной дыры к коллапсу, в ее спектре не удается зарегистрировать высокоэнергетического электромагнитного излучения. Если дискообразная структура находится в стационарном магнитном поле (В. Corpi, Plasma Phys. Reports. 45, 438 (2019)), то возможно возникновение и развитие другого класса мод за счет воздействия дискообразных структур, поддерживаемых гравитационным полем (В. Corpi, Plasma Phys. Reports. 45, 438 (2019)). Ключевые слова: двойная черная дыра, собственные гравитационные моды, вращающиеся дисковые структуры, быстро вращающаяся плазма, окружающая двойную черную дыру DOI: 10.31857/S036729212109002X.

21.05-01.386 Слияние магнитных островов и расчет доли высокоэнергичных частиц в солнечном ветре. Молотков И.А., Рябова Н.А. Физика плазмы. 2021. 47, № 9, с. 801-807. Рус.

Предлагаемая статья использует существенно разные подходы для аналитического описания процессов слияния магнитных островов. Один подход основан на системе нелинейных магнитогидродинамических (МГД) уравнений, а второй — базируется на уравнении переноса для функции распределения частиц солнечного ветра по скоростям. В стандартном случае эти подходы основаны на использовании одножидкостного варианта плазмы, когда плазма и есть единственная жидкость. В данной статье оба подхода применяются при двухжидкостной модели, когда плазма трактуется как объединение ионной и электронной жидкостей. Физические процессы в плазме солнечного ветра приводят к дополнительному образованию магнитных островов. Особенно велика роль этих процессов в окрестности фронта межпланетной ударной волны. При реализации первого подхода изучен процесс слияния магнитных островов. При реализации второго подхода подсчитана доля высокоэнергичных частиц в плазме солнечного ветра. Установлено количество частиц, приобретающих в солнечном ветре (в том числе при процессах слияния магнитных островов) энергию свыше 1 МэВ. Во всех рассмотренных частных случаях найдены явные выражения и количественные оценки для основных параметров солнечного ветра. Ключевые слова: магнитные острова, двухжидкостная модель плазмы, ускорительные процессы в плазме солнечного ветра DOI: 10.31857/S0367292121090067.

21.05-01.387 Динамическая устойчивость гравастаров для случая ЧД АВГ. Шариф М., Джавед Ф. Ж. эксперим. и теор. физ. 2021. 160, № 4, с. 508-519. Рус.

Построена геометрия гравастаров с тонкой оболочкой на основе сшивания внутреннего решения де Ситтера и внешней черной дыры Айон-Беато—Гарсиа (де Ситтера). На тонкой оболочке эти два пространства—времени связываются с помощью техники “cut and paste”. Наличие тонкого слоя материи на тонкой оболочке играет важную роль для объяснения динамики и устойчивости гравастаров. Оказалось, что физические характеристики, такие как собственная длина, энтропия и энергетические условия зависят от толщины оболочки. Устойчивость гравастаров исследуется с использованием линеаризованного радиального возмущения и баротропного уравнения состояния. Получено, что области устойчивости для черных дыр Айон-Беато и Гарсиа—де Ситтера больше, чем для черных дыр Айон-Беато и Гарсиа, а также для черных дыр Шварцшильда. Оказалось, что гравастары с тонкой оболочкой более устойчивы, если для баротропного уравнения состояния радиус оболочки меньше, чем ожидаемый горизонт событий.

21.05-01.388 О стабилизации регулярных прецессий спутника при помощи магнитных моментов. Моро-

зов В.М., Каленова В.И., Рак М.Г. Прикл. мат. и мех. 2021. 85, № 4, с. 436-453. Рус.

Рассматривается стабилизация регулярных прецессий динамически симметричного спутника, центр масс которого движется по круговой орбите в гравитационном и магнитном полях Земли. Управляющие моменты формируются за счет взаимодействия собственного дипольного момента спутника с магнитным полем Земли. Линеаризованные в окрестности регулярных прецессий уравнения движения представляют собой линейные нестационарные системы. Для решения задач стабилизации предлагается и развивается подход, основанный на приведении к стационарным системам большего, чем исходная система, порядков. Исследуется управляемость и строятся эффективные алгоритмы стабилизации. Ключевые слова: стабилизация, регулярная прецессия, линейная нестационарная система, приводимость, управляемость, алгоритмы стабилизации DOI: 10.31857/S003282352104010X.

21.05-01.389 Модель Солнца с горячим ядром. Шакирзянов Ф.Н., Бутырин П.А., Абдулкеримов С.А., Мигеев Д.В. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1535-1537. Рус.

Предложен ряд задач, решение которых позволит оценить адекватность новой модели Солнца с горячим ядром, в соответствии с которой источником солнечной энергии могут быть не только реакция синтеза гелия из ядер водорода, но и любые другие импульсно-протекающие термоядерные реакции, которые считались ранее невозможными из-за малой (всего 15 млн градусов) температуры ядра.

21.05-01.390 Исследование связи параметров вариаций космических лучей, регистрируемых на Земле, с корональными дырами на Солнце. Осетрова Н.В., Астапов И.И., Барбашина Н.С., Коновалова А.Ю., Шутенко В.В. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1608-1610. Рус.

В годы пониженной солнечной активности высокоскоростной солнечный ветер является одной из главных причин возмущений межпланетного магнитного поля, которые приводят к модуляциям потоков космических лучей, пронизывающих магнитосферу Земли. Представлены результаты анализа деформаций углового распределения космических лучей в GSE системе, зарегистрированных мюонным годоскопом УРАГАН во время геомагнитных возмущений в периоды минимумов солнечной активности 2009—2010 и 2018—2019 гг.

21.05-01.391 Амплитудные и временные характеристики 27-дневных вариаций потока галактических космических лучей, зарегистрированных в эксперименте PAMELA с 2006 по 2016 год. Юлбарисов Р.Ф., Галикян Н.Г., Майоров А.Г., Голуб О.А., Малазов В.В., Роденко С.А. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1611-1614. Рус.

С июня 2006 г. по январь 2016 г. спектрометры PAMELA и ARINA зарегистрировали несколько случаев возникновения 27-дневных вариаций потока галактических космических лучей (ГКЛ). Восстановлены характеристики ГКЛ: представлена временная динамика амплитуды вариаций для различных энергий и получены амплитудно-энергетические зависимости для нескольких эпизодов возникновения вариаций.

21.05-01.392 Энергетические зависимости основных характеристик форбуш понижений по данным спектрометра PAMELA. Лагойда И.А., Михайлов В.В., Воронцов С.А., Нгобени М.Д. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1615-1618. Рус.

Форбуш понижения проявляются в виде резкого, кратковременного уменьшения регистрируемой интенсивности космических лучей в околоземном и межпланетном пространстве. На сегодняшний день, данный эффект изучается преимущественно при помощи наземной аппаратуры. В работе представлены энергетические зависимости характеристик Форбуш понижения, полученные по данным спектрометра PAMELA, проводившего измерения потоков частиц космических лучей на орбите Земли в составе спутника Ресурс ДК-1.

21.05-01.393 Анализ жесткостных спектров вари-

ций космических лучей в октябре 2012 г. Луковникова А.А. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1619-1622. Рус.

По данным наземных и спутниковых наблюдений космических лучей на мировой сети станций нейтронных мониторов методом спектрографической глобальной съемки исследованы Форбуш-эффекты в октябре 2012 г. Получены жесткостные спектры вариаций первичных космических лучей на орбите Земли. Приведены показатели спектров вариаций космических лучей в отдельные периоды исследуемого события.

21.05-01.394 Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г. Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1623-1626. Рус.

По данным наземных измерений космических лучей на мировой сети станций исследованы Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г. Рассчитаны спектры вариаций, анизотропия космических лучей и изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания. Определены расстояние до подсолнечной точки, радиус кольцевого тока, а также вклад кольцевого тока в Dst-индекс во время исследуемых событий.

21.05-01.395 Совершенствование метода исследования распределения космических лучей на основе данных сети мюонных телескопов. Гололобов С.Ю., Зверев А.С., Григорьев В.Г. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1627-1630. Рус.

Представлен метод определения углового распределения космических лучей на основе данных наземных мюонных телескопов. Метод представляет собой сферический анализ экспериментальных данных с учетом взаимосвязи первичного и наблюдаемого на Земле вторичного излучения космических лучей. Рассматриваются методические вопросы, связанные с улучшением качества получаемых результатов.

21.05-01.396 Поиск оптимальных точек размещения портативного нейтронного монитора. Балабин Ю.В. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1631-1633. Рус.

Выполнен поиск места размещения портативного прибора для мониторинга космических лучей. Критерием отбора служило условие получения новых данных, не дублированных уже имеющимися станциями.

21.05-01.397 Расчеты радиационных нагрузок, создаваемых космическими лучами в атмосфере Земли. Добындэ М.И., Свертилов С.И., Панасюк М.И. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1642-1645. Рус.

Воздействие высокоэнергичных космических лучей, проникающих в атмосферу Земли, создает радиационные риски для авиационных полетов. Промоделировано распространение частиц космических лучей в атмосфере и вычисляем высотные профили радиационных нагрузок за алюминиевой защитой различной толщины. Полученные результаты могут стать основой системы мониторинга радиационных нагрузок при авиационных полетах.

21.05-01.398 Динамика поведения зональных составляющих распределения космических лучей и B_z -компоненты межпланетного магнитного поля в периоды геомагнитных бурь в 23 и 24 циклах солнечной активности. Зверев А.С., Стародубцев С.А., Григорьев В.Г., Гололобов С.Ю. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11, с. 1646-1649. Рус.

В ИКФИА СО РАН на основе использования метода глобальной съемки и анализа поведения зональных (северо-южных) составляющих распределения космических лучей в реальном времени проводится прогноз геомагнитных возмущений с $D_{st} < -50$ нТл. Исследована связь динамики вариаций B_z -компоненты во время геомагнитных бурь с поведением зональных составляющих космических лучей в 23 и 24 циклах солнечной активности.

21.05-01.399 Возмущение свечения ночного неба в ясную погоду на средних широтах. Хаердинов Н.С., Джанпуев Д.Д., Канониди К.Х., Куджаев А.У., Курьяев А.Н., Лидванский А.С., Петков В.В., Хаердинов М.Н. Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11,

с. 1657-1660. Рус.

Зарегистрировано свечение ночного неба на 43° N во время глобальных магнитосферных возмущений. Свечению предшествовала сейсмическая активность, сгенерировавшая подземный отрицательный заряд выходящим на поверхность земли положительным током, $20\text{--}25$ нА/м².

21.05-01.400 Отклик детектора LVD на землетрясения в центральной Италии. *Агафонова Н.Ю., Ашишмин В.В., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Мальгин А.С., Ряжская О.Г., Филимонова Н.А., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. (и коллаборация LVD)*. *Известия РАН. Серия физическая*. 2021. 85, № 11, с. 1661-1665. Рус.

Основными источниками фона по низкому порогу в подземном Детекторе большого объема (LVD, LNGS, Италия) являются естественная радиоактивность грунта и радон, который выходит из грунтовых вод в атмосферу подземного помещения через множественные микротрещины в породе. Установка LVD регистрирует гамма-кванты от распадов дочерних ядер радона. При деформациях земной коры возникает напряжение, увеличивается количество микротрещин, что приводит к повышению концентрации радона. Представлен анализ темпа счета детектора во время мощных землетрясений в центральной Италии в 2019 году.

21.05-01.401 Вариации заряженной и нейтральной компонент космических лучей в сейсмической зоне CASLEO. *Орлов А.А., Махмутов В.С., Филиппов М.В., Стожков Ю.И., Роман Ж.-П.* *Известия РАН. Серия физическая*. 2021. 85, № 11, с. 1666-1668. Рус.

Представлены результаты анализа данных наземных измерений заряженной и нейтральной компонент космических лучей и приземного электрического поля в районе астрономического комплекса КАСЛЕО (CASLEO; Эль-Леонито, Аргентина), полученных в период 2015—2020 гг. Основное внимание уделено измерениям во время проявлений сейсмической активности — землетрясений, произошедших на расстоянии от 5 до 500 км от КАСЛЕО. Предварительный анализ выборки событий позволил установить отдельные свойства этих вариаций.

21.05-01.402 Вариации космических лучей перед мощными землетрясениями. *Борог В.В., Тимашев С.Ф.* *Известия РАН. Серия физическая*. 2021. 85, № 11, с. 1669-1672. Рус.

Обнаружено, что перед мощными землетрясениями (магнитуда $M \approx 8$) возникают вариации потока космических лучей в большинстве нейтронных мониторов мировой сети, расположенных на разных континентах. Надежные данные, получаемые с помощью методики фликкер-шумовой спектроскопии, проявляются за несколько суток до землетрясений и могут служить основой для создания предиктора первого уровня.

21.05-01.403 Процесс супер-пенроуза для неэкстремальной черной дыры. *Super-penrose process for nonextremal black holes. Zaslavskii O.V.* *Письма в ЖЭТФ*. 2021. 113, № 12, с. 789-790. Англ.

DOI: 10.31857/S123456782112003X.

21.05-01.404 Поиск слабозаимодействующих массивных частиц тёмной материи: состояние и перспективы. *Александров А.Б., Дашкина А.Б., Конова Н.С., Окатьева Н.М., Полушина Н.Г., Старков Н.И., Тюков В.Э., Чернявский М.М., Щедрина Т.В.* *УФН*. 2021. 191, № 9, с. 905-936. Рус.

Определение природы тёмной материи (ТМ) — одна из важнейших задач современной экспериментальной физики. Представлен обзор основных аргументов, подтверждающих существование ТМ, приведена современная классификация частиц ТМ, названы возможные кандидаты на эту роль, рассказыва-

ется о наиболее крупных проводимых и разрабатываемых экспериментах по поиску частиц ТМ. Основная цель публикации — дать представление о многообразии экспериментальных методов и подходов по регистрации частиц ТМ, а также о полученных к настоящему времени результатах их поиска, которые открывают новые перспективы по изучению ТМ и помогут решить актуальные задачи Новой физики.

21.05-01.405 Сверхскоростные звёзды: теория и наблюдения. *Тутуков А.В., Дремова Г.Н., Дремов В.В.* *УФН*. 2021. 191, № 10, с. 1017-1043. Рус.

Кинематическая особенность объектов микромира (элементарных частиц) — релятивистские скорости — сегодня является предметом научных дискуссий в плане её приемлемости для объектов макромира: звёзд, планет, астероидов, а также белых карликов, нейтронных звёзд и чёрных дыр звёздных масс. Осознание такой возможности связано с открытием Уорреном Брауном в начале XXI века сверхскоростных звёзд (СЗ), которые были предсказаны Джеком Хиллзом в 1988 г. в рамках сценария динамического захвата двойной звезды центральной сверхмассивной чёрной дырой (СМЧД). Механизм ускорения, обусловленный обменом импульса в классической задаче трёх тел, создаёт кинетический ресурс для образования СЗ путём гравитационного захвата оставшегося компаньона. Сегодня наблюдаемый порог кинематической звёздной аномальности превышает $1\ 700$ км с⁻¹ и воспроизводится в ряде сценариев, альтернативных сценарию Хиллза. СЗ могут генерироваться в ходе столкновительной эволюции звёздных скоплений, в результате взрывов сверхновых в тесных двойных звёздах, вследствие орбитальной нестабильности тройных систем, в процессах захвата звёзд из других галактик и т.д. Наиболее перспективными в реализации аномально высоких скоростей остаются сценарии при участии чёрных дыр, массы которых варьируются от звёздных до нескольких миллиардов солнечных масс. Сценарий Хиллза занимает особое место в изучении природы СЗ, так как, построенный на идее случайного захвата двойной звезды окрестностью СМЧД, он не касается проблемы заселённости галактического центра. В этом сценарии прогнозируются согласованные статистики СЗ и захваченных звёзд, возможно, отождествляемых с S-звёздами. Открытие S-звёзд сыграло значительную роль в изучении центральной области Галактики, из анализа динамики которых независимым способом были получены неоспоримые доказательства существования СМЧД. Данный обзор кратко затрагивает историю открытия и изучения СЗ и S-звёзд, даёт представление о наблюдательных статистиках этих объектов, а также описывает методы их моделирования в постановках классической задачи трёх тел и задачи N-тел. Изучаются пределы эффективного ускорения звёзд в классическом сценарии Хиллза и модифицированном, в котором допускается замена одного из компонентов двойной звезды на ещё одну СМЧД. Ускорение, продуцируемое в перекрёстном поле двух СМЧД, оказывается эффективным для генерации звёзд с релятивистскими скоростями ($1/2 \sim c - 2/3 \sim c$). Обсуждаются условия выживания таких звёзд в области экстремальных градиентов гравитационных полей в зависимости от перичетрического сближения с центральной СМЧД и её массы. В рамках вероятностной самосогласованной модели, унифицированной на основе классического и модифицированного сценариев Хиллза, прогнозируются вероятности образования СЗ в Галактике и звёзд с релятивистскими скоростями за её пределами. В обзоре обсуждаются перспективы поиска звёзд и астероидов с релятивистскими скоростями в рамках ближайших космических миссий и получения новых знаний о Вселенной.

См. также **21.05-01.4**, **21.05-01.5**, **21.05-01.6**, **21.05-01.9**, **21.05-01.59**, **21.05-01.97**, **21.05-01.176**, **21.05-01.177**, **21.05-01.178**, **21.05-01.182**, **21.05-01.184**, **21.05-01.240**, **21.05-01.241**, **21.05-01.257**, **21.05-01.258**, **21.05-01.260**, **21.05-01.261**, **21.05-01.264**

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- A**
 Abdullah Bawadi 21.05-01.205
 Absi R. 21.05-01.164
 Adaev II.R. 21.05-01.312
 Ahangarani Farahani F. 21.05-01.348
 Algarni Mohammed 21.05-01.205
 Ali Ahmad Hasan 21.05-01.205
- B**
 Bahada Ali 21.05-01.205
 Buchner J. 21.05-01.384
 Buddhadev Pal 21.05-01.313
 Burkov S.I. 21.05-01.26
- C**
 Coppi B. 21.05-01.385
- D**
 Davoudi F. 21.05-01.348
- E**
 Efimov E.A. 21.05-01.84
- F**
 Farjadnia T. 21.05-01.348
 Farooqi Ahmed Salam 21.05-01.205
 Felemban Bassem F. 21.05-01.205
 Foroughi R. 21.05-01.348
- G**
 Ghalee A. 21.05-01.348
- H**
 Hasheminasab F. 21.05-01.348
- K**
 Karepova E.D. 21.05-01.312
 Khan Afrasyab 21.05-01.205
 Kovenya V.M. 21.05-01.168
- L**
 Lavrentiev M.M. 21.05-01.146
 Li Li 21.05-01.193
- M**
 Marchuk A.G. 21.05-01.146
 Mazidabadi Farahani A. 21.05-01.348
 Mingwei Piao 21.05-01.189
 Mirshafie Khozani P. 21.05-01.348
 Mousavi S.M. 21.05-01.348
- N**
 Nasrollahzadeh F. 21.05-01.348
- P**
 Paki E. 21.05-01.348
 Pletnev O.N. 21.05-01.26
 Poro A. 21.05-01.348
- Q**
 Qiang Zhao 21.05-01.189
- R**
 Raquel Martinez 21.05-01.193
 Rezvanpanah S. 21.05-01.348
 Roshana M. 21.05-01.348
- S**
 Sadovskaya O.V. 21.05-01.84
 Sadovskii V.M. 21.05-01.84
 Sampa Pahan 21.05-01.313
 Sanaullah Khairuddin 21.05-01.205
 Shan'ko Yu.V. 21.05-01.312
 Shihui Wang 21.05-01.187
 Sorokin B.P. 21.05-01.26
- T**
 Tarraf D. 21.05-01.168
 Turchin P.P. 21.05-01.26
- U**
 Ullah Atta 21.05-01.205
- Y**
 Yunkai Gao 21.05-01.187
- Z**
 Zaslavskii O.B. 21.05-01.403
 Zhaotong Yang 21.05-01.187
 Zolotova O.P. 21.05-01.26
 Zwawi Mohammed 21.05-01.205
- А**
 Абдалазиз А. 21.05-01.154
 Абдрахимов А.М. 21.05-01.291
 Абдулкеримов С.А. 21.05-01.389
 Абдуллаев Н.А. 21.05-01.112,
 21.05-01.115
 Абдуллоев С.Х. 21.05-01.303
 Абезяев И.Н. 21.05-01.275
 Абраменко Д.С. 21.05-01.206
 Абунии А.А. 21.05-01.376
 Абунина М.А. 21.05-01.376
 Авагян В.К. 21.05-01.207
 Авдюшев В.А. 21.05-01.310
 Аганин А.А. 21.05-01.90
 Агафонов М.И. 21.05-01.319
 Агафонова Н.Ю. 21.05-01.400
 Агеев А.И. 21.05-01.163
 Агейкин А.В. 21.05-01.199,
 21.05-01.203
 Антов В.Н. 21.05-01.272
 Аксенов С.П. 21.05-01.139
 Акшенцев Ю.Н. 21.05-01.255
 Александров А.Б. 21.05-01.404
 Александрова А.Г. 21.05-01.290
 Алексеев А.Н. 21.05-01.125
 Алехин С.Г. 21.05-01.214
 Алешин И.М. 21.05-01.180
 Алешин Н.П. 21.05-01.38,
 21.05-01.44, 21.05-01.133,
 21.05-01.138
 Али М. 21.05-01.116
- Алимурадов А.К. 21.05-01.199,
 21.05-01.200, 21.05-01.201,
 21.05-01.202, 21.05-01.203
 Алферов В.Н. 21.05-01.219
 Альес М.Ю. 21.05-01.123
 Амромин Э.Л. 21.05-01.17
 Анањева В.И. 21.05-01.286
 Анахаев К.Н. 21.05-01.58
 Анашкина А.А. 21.05-01.3
 Андреасян Р.Р. 21.05-01.332
 Андреев А.А. 21.05-01.67
 Андреев А.О. 21.05-01.317
 Андреева Т.С. 21.05-01.322
 Андрусенко Д.А. 21.05-01.125
 Аннин Б.Д. 21.05-01.86
 Аносов М.С. 21.05-01.46
 Антипова А.В. 21.05-01.267
 Антонов С.И. 21.05-01.1К
 Антонов С.Н. 21.05-01.127,
 21.05-01.129, 21.05-01.130,
 21.05-01.220, 21.05-01.225
 Аржанников А.В. 21.05-01.262
 Аристов В.В. 21.05-01.248
 Арсеев П.И. 21.05-01.12
 Арсентьева А.А. 21.05-01.349
 Артамонов Д.В. 21.05-01.202
 Артёмова Д.Г. 21.05-01.247
 Артемьева Н.А. 21.05-01.176
 Артюхов А.В. 21.05-01.228
 Архипова В.П. 21.05-01.342
 Ассовский И.Г. 21.05-01.244
 Астапов И.И. 21.05-01.390
 Атавин В.Г. 21.05-01.217
 Аунг Мью Зо 21.05-01.278
 Ахмедов Р.А. 21.05-01.223
 Ахтемов З.С. 21.05-01.374
 Ашанин В.Н. 21.05-01.34
 Ашихмин В.В. 21.05-01.400
- Б**
 Бабаев В.П. 21.05-01.135
 Бабешко В.А. 21.05-01.249,
 21.05-01.256
 Бабешко О.М. 21.05-01.249,
 21.05-01.256
 Багаев С.Н. 21.05-01.11
 Бадалова З.И. 21.05-01.115
 Бадмаев С.С. 21.05-01.33
 Базилевская Г.А. 21.05-01.360,
 21.05-01.368, 21.05-01.380
 Базилевский А.Т. 21.05-01.291
 Базулин А.Е. 21.05-01.50
 Базулин Е.Г. 21.05-01.37,
 21.05-01.42, 21.05-01.43,
 21.05-01.50, 21.05-01.207,
 21.05-01.237, 21.05-01.238
 Байдерин А.А. 21.05-01.257
 Баикин А.С. 21.05-01.85
 Байкова А.Т. 21.05-01.328,
 21.05-01.340, 21.05-01.345
 Баимова Ю.А. 21.05-01.15
 Байтимбетова Б.А. 21.05-01.134
 Баканас Е.С. 21.05-01.299
 Бакулин В.Н. 21.05-01.61,
 21.05-01.62, 21.05-01.281
 Балабин Ю.В. 21.05-01.396
 Балегга Ю.Ю. 21.05-01.10,
 21.05-01.271
 Балыев И.А. 21.05-01.289
 Баничук Н.В. 21.05-01.55,
 21.05-01.64
 Баньщикова М.А. 21.05-01.310

Баранникова С.А. 21.05-01.32
 Барбашина Н.С. 21.05-01.390
 Бардушкин В.В. 21.05-01.246
 Барке В.В. 21.05-01.298
 Барсуков Р.В. 21.05-01.89
 Барышев М.Г. 21.05-01.253
 Барышников Н.А. 21.05-01.229
 Басалов Ю.Г. 21.05-01.57
 Бачурин Д.В. 21.05-01.81
 Башарова А.Ф. 21.05-01.119
 Баязитов А.М. 21.05-01.81
 Бебихов Ю.В. 21.05-01.94
 Белашов В.Ю. 21.05-01.181
 Белашова Е.С. 21.05-01.181
 Белов А.А. 21.05-01.301
 Белов А.В. 21.05-01.376
 Беляев Б.А. 21.05-01.120
 Беляев В.С. 21.05-01.260
 Бёрд М.К. 21.05-01.367
 Бердников Л.Н. 21.05-01.341
 Берлин А.А. 21.05-01.244
 Берто Ж.-Л. 21.05-01.286
 Беседина А.Н. 21.05-01.175
 Бескакотов А.С. 21.05-01.271
 Беспалько А.А. 21.05-01.78
 Бехер С.А. 21.05-01.209, 21.05-01.236
 Бизяев Д.В. 21.05-01.267
 Бирюков А.В. 21.05-01.320
 Бисякало Д.В. 21.05-01.324,
 21.05-01.337
 Блинков Ю.А. 21.05-01.65
 Блинкова Е.В. 21.05-01.290,
 21.05-01.306
 Бобров А.Л. 21.05-01.51,
 21.05-01.236
 Бобылев В.В. 21.05-01.328,
 21.05-01.340, 21.05-01.345
 Богачев Д.В. 21.05-01.21
 Богаченков А.Н. 21.05-01.196
 Богомолов А.В. 21.05-01.227
 Боднарова Л. 21.05-01.216
 Бордовицына Т.В. 21.05-01.290,
 21.05-01.306
 Борзых С.В. 21.05-01.61,
 21.05-01.281
 Борисенко С.А. 21.05-01.304
 Борисов В.Н. 21.05-01.217
 Борог В.В. 21.05-01.402
 Бородина Е.Л. 21.05-01.147
 Бородкова Н.Л. 21.05-01.375
 Боряк С.В. 21.05-01.204
 Браже Р.А. 21.05-01.111
 Бреус Т.К. 21.05-01.283
 Брожковский И. 21.05-01.216
 Бубнов М.А. 21.05-01.212
 Бубукин И.Т. 21.05-01.319
 Буднев Н.М. 21.05-01.363
 Буйло Б.И. 21.05-01.40
 Буйло С.И. 21.05-01.40
 Булатов В.В. 21.05-01.143
 Булыгин И.И. 21.05-01.330
 Бурбело Р.М. 21.05-01.125
 Бурдуковская В.Г. 21.05-01.145
 Бурков М.В. 21.05-01.218
 Бурлак М.А. 21.05-01.342
 Бурлаков А.Б. 21.05-01.196
 Бурлакова Т.Е. 21.05-01.272
 Буров А.А. 21.05-01.241,
 21.05-01.250
 Бурсунова О.Ю. 21.05-01.336
 Бут И.И. 21.05-01.13
 Бутузова М.С. 21.05-01.321
 Бутырин П.А. 21.05-01.389
 Бучинская И.И. 21.05-01.110
 Бычков В.Д. 21.05-01.272

Бычков В.Л. 21.05-01.92
 Бычкова Л.В. 21.05-01.272
 Бяков А.В. 21.05-01.218

В

Вавилов В.П. 21.05-01.48
 Вакуленко А.Ф. 21.05-01.113
 Вальгц И.Е. 21.05-01.315
 Валявин Г.Г. 21.05-01.272
 Вараксин А.Ю. 21.05-01.24
 Варфоломеев И.А. 21.05-01.21
 Васильев А.А. 21.05-01.289
 Васильев В.В. 21.05-01.56
 Васильев Д.А. 21.05-01.219
 Васильев И.Е. 21.05-01.53,
 21.05-01.212, 21.05-01.234
 Василюк С.В. 21.05-01.125
 Ватульян А.О. 21.05-01.20
 Вахрушев С.Б. 21.05-01.113
 Вашковьяк М.А. 21.05-01.309,
 21.05-01.311
 Веденеев В.В. 21.05-01.30
 Ведешин Л.А. 21.05-01.4, 21.05-01.5
 Велиев Р.Г. 21.05-01.115
 Венкстерн А.А. 21.05-01.298
 Верещагин С.В. 21.05-01.331
 Веригин М.И. 21.05-01.283
 Виноградов Е.А. 21.05-01.12
 Виноградова Л.Н. 21.05-01.21
 Владимиров И.Ю. 21.05-01.143
 Владимиров Ю.В. 21.05-01.143
 Власов В.И. 21.05-01.160
 Власов Н.А. 21.05-01.210
 Власова Н.А. 21.05-01.360,
 21.05-01.380
 Волков Г.А. 21.05-01.91
 Волков И.М. 21.05-01.329
 Волков М.В. 21.05-01.140,
 21.05-01.141
 Волкова Л.В. 21.05-01.119
 Волов В.А. 21.05-01.291
 Вopilкин А.Х. 21.05-01.37,
 21.05-01.43, 21.05-01.50
 Воробьева Е.А. 21.05-01.301
 Воронина А.В. 21.05-01.136
 Воронко А.И. 21.05-01.226
 Воронкова Е.М. 21.05-01.243
 Воронов С.А. 21.05-01.392
 Воропаев С.А. 21.05-01.305
 Воротилин В.П. 21.05-01.156
 Высочкин В.В. 21.05-01.307

Г

Гаврилов Б.Г. 21.05-01.182
 Гаджибеков Т.А. 21.05-01.18
 Гайфуллин А.М. 21.05-01.13
 Галазутдинов Г.А. 21.05-01.272
 Галазутдинова О.А. 21.05-01.268
 Галиакбарова Э.В. 21.05-01.231
 Галикян Н.Г. 21.05-01.391
 Галиуллин И.И. 21.05-01.344
 Гареев Л.Р. 21.05-01.30
 Гаркушин Г.В. 21.05-01.159
 Гарнов С.В. 21.05-01.85
 Гасанов А.Р. 21.05-01.223
 Гасанов Р.А. 21.05-01.223
 Гасанов С.А. 21.05-01.327
 Герасимов С.И. 21.05-01.190
 Гершберг Р.Е. 21.05-01.338
 Гильфанов М.Р. 21.05-01.344
 Гинзбург Е.А. 21.05-01.360,
 21.05-01.380
 Гинзбург Н.С. 21.05-01.262

Глаголевский Ю.В. 21.05-01.273
 Глазачев Д.О. 21.05-01.176
 Глуховский Е.М. 21.05-01.195
 Глушков Е.В. 21.05-01.69
 Глушкова Н.В. 21.05-01.69
 Гоев А.Г. 21.05-01.180
 Голов А.А. 21.05-01.150
 Гололобов П.Ю. 21.05-01.395,
 21.05-01.398
 Голуб О.А. 21.05-01.391
 Голубь А.П. 21.05-01.302,
 21.05-01.383
 Гончар А.В. 21.05-01.46
 Горбунов М.Е. 21.05-01.264
 Горбунов Р.В. 21.05-01.319
 Горбунова Т.Ю. 21.05-01.319
 Горшков К.А. 21.05-01.73
 Горькавый Н.Н. 21.05-01.266
 Гостев Ю.В. 21.05-01.381
 Граужанина А.О. 21.05-01.272
 Грачев Л.П. 21.05-01.92
 Гребенев В.В. 21.05-01.109
 Грек Г.Р. 21.05-01.157
 Григоренко Е.Е. 21.05-01.377,
 21.05-01.384
 Григорьев В.Г. 21.05-01.395,
 21.05-01.398
 Гринберг Б.А. 21.05-01.161
 Гринин В.П. 21.05-01.336
 Гришакина Е.А. 21.05-01.285
 Гришин М.Я. 21.05-01.31
 Грунская Л.В. 21.05-01.314
 Гувернюк С.В. 21.05-01.76
 Гудков С.В. 21.05-01.85
 Гулин А.И. 21.05-01.228
 Гульельми А.В. 21.05-01.184,
 21.05-01.186
 Гусева Т.С. 21.05-01.90

Д

Давлатов Р.А. 21.05-01.381
 Давыдов В.С. 21.05-01.232
 Дайбог Е.И. 21.05-01.360,
 21.05-01.380
 Далин М.А. 21.05-01.137
 Далин П.А. 21.05-01.366
 Данилов А.Д. 21.05-01.364
 Данилов В.М. 21.05-01.269
 Данилов В.Н. 21.05-01.47
 Данн Д.Д. 21.05-01.78
 Дашкина А.Б. 21.05-01.404
 Дементьев Ю.А. 21.05-01.79
 Демина И.М. 21.05-01.369
 Демина Н.Ю. 21.05-01.317
 Деминов М.Г. 21.05-01.365,
 21.05-01.372
 Деминов Р.Г. 21.05-01.372
 Деминова Г.Ф. 21.05-01.365
 Демишев С.В. 21.05-01.251
 Демкин В.П. 21.05-01.239
 Денисенко П. 21.05-01.154
 Денисов А.Н. 21.05-01.242
 Денисова И.П. 21.05-01.257
 Децуева А.Х. 21.05-01.371
 Дерусова Д.А. 21.05-01.48
 Джавед Ф. 21.05-01.387
 Джалпуев Д.Д. 21.05-01.399
 Джахангирли Э.А. 21.05-01.112,
 21.05-01.115
 Джинго Я. 21.05-01.305
 Диденкулова Е.Г. 21.05-01.72
 Диденкулова И.И. 21.05-01.154
 Дитенберг И.А. 21.05-01.263
 Дмитриев С.В. 21.05-01.81,

21.05-01.93, 21.05-01.94
 Добрынина Е.А. 21.05-01.400
 Добындэ М.И. 21.05-01.397
 Додин А.В. 21.05-01.342
 Долгих Г.И. 21.05-01.224
 Долгов Д.А. 21.05-01.111
 Долматов Д.О. 21.05-01.39
 Донченко С.С. 21.05-01.381
 Дорощенко И.А. 21.05-01.27
 Дравских А.Ф. 21.05-01.326
 Дравских Ю.А. 21.05-01.326
 Драган С.П. 21.05-01.227
 Дремов В.В. 21.05-01.405
 Дремова Г.Н. 21.05-01.405
 Дружинин Н.В. 21.05-01.48
 Дубинский А.Ю. 21.05-01.292
 Дудай П.В. 21.05-01.245
 Дудоров А.Е. 21.05-01.325
 Дунченко А.Г. 21.05-01.308
 Дутых Д. 21.05-01.154
 Душенко Н.В. 21.05-01.305
 Дьяченко В.В. 21.05-01.271

Е

Евдокимова О.В. 21.05-01.249,
 21.05-01.256
 Евсеев И.В. 21.05-01.42
 Егоров А.И. 21.05-01.195
 Егоров И.В. 21.05-01.155
 Егорова Л.Ю. 21.05-01.255
 Елизаров С.В. 21.05-01.53
 Елисеев А.А. 21.05-01.305
 Емельяненко В.В. 21.05-01.295
 Еникеев Р.И. 21.05-01.400
 Епихин В.М. 21.05-01.126
 Еремин А.В. 21.05-01.218
 Ермаченко В.П. 21.05-01.49
 Ермолаев Ю.И. 21.05-01.375,
 21.05-01.378
 Ерофеев В.И. 21.05-01.63,
 21.05-01.74, 21.05-01.190
 Ерошенко Е.А. 21.05-01.376
 Ершов А.А. 21.05-01.347
 Ершов Е.В. 21.05-01.21
 Есаков И.И. 21.05-01.92
 Еселевич В.Г. 21.05-01.375
 Есипов В.Ф. 21.05-01.342
 Ефимов А.И. 21.05-01.367
 Ефишов И.И. 21.05-01.379

Ж

Жамков А.С. 21.05-01.355
 Жаркова А.Ю. 21.05-01.285
 Жвик В.В. 21.05-01.13
 Жеребцов Г.А. 21.05-01.10
 Жилкин А.Г. 21.05-01.324,
 21.05-01.325

З

Забродский А.Г. 21.05-01.11
 Заведеев Е.В. 21.05-01.95
 Загвоздин И.Н. 21.05-01.83
 Загреев Б.В. 21.05-01.260
 Задков В.Н. 21.05-01.11
 Заикин О.С. 21.05-01.142
 Зайко Ю.С. 21.05-01.30
 Зайцев В.Ю. 21.05-01.213
 Зайцев С.В. 21.05-01.135
 Заславский В.Ю. 21.05-01.262
 Застенкер Г.Н. 21.05-01.375,
 21.05-01.378
 Захаренкова И.Е. 21.05-01.379

Захаров В.Ю. 21.05-01.343
 Звездин А.К. 21.05-01.114
 Зверев А.С. 21.05-01.395,
 21.05-01.398
 Звонарев С.Л. 21.05-01.22
 Зелёный Л.М. 21.05-01.294,
 21.05-01.377, 21.05-01.382
 Зелёный Л.М. 21.05-01.384
 Зенченко Е.В. 21.05-01.229
 Зенченко П.Е. 21.05-01.229
 Зидан О.Д. 21.05-01.135
 Зименков А.А. 21.05-01.245
 Знаменская И.А. 21.05-01.27
 Зотов О.Д. 21.05-01.184
 Зубарев А.Э. 21.05-01.291
 Зубко А.А. 21.05-01.22
 Зубко А.И. 21.05-01.22

И

Иваницкий Г.Р. 21.05-01.352
 Иванов Б.А. 21.05-01.177
 Иванов В.В. 21.05-01.307,
 21.05-01.308
 Иванов В.И. 21.05-01.53,
 21.05-01.212, 21.05-01.234
 Иванов В.Н. 21.05-01.153
 Иванов В.П. 21.05-01.322
 Иванов М.А. 21.05-01.161
 Иванов М.П. 21.05-01.198
 Иванов С.В. 21.05-01.65
 Иванова А.Е. 21.05-01.286
 Иванова А.И. 21.05-01.116
 Иванова С.Ю. 21.05-01.55,
 21.05-01.64
 Ивановский А.В. 21.05-01.245
 Иконникова Н.П. 21.05-01.342
 Ильгамов М.А. 21.05-01.23,
 21.05-01.54
 Ильиных А.Ю. 21.05-01.80,
 21.05-01.100, 21.05-01.101,
 21.05-01.102
 Ильичев А.Т. 21.05-01.105
 Ильичева И.А. 21.05-01.259
 Ильяшенко А.В. 21.05-01.18
 Иноземцев А.В. 21.05-01.161
 Иншакова К.А. 21.05-01.135
 Иоилев А.Г. 21.05-01.190
 Ипатов А.В. 21.05-01.322
 Исаев С.Г. 21.05-01.34
 Исакевич В.В. 21.05-01.314
 Исакевич Д.В. 21.05-01.314
 Исхужин Р.Р. 21.05-01.217
 Ишков В.Н. 21.05-01.360,
 21.05-01.380

И
 Кабов О.А. 21.05-01.79
 Казаков Л.И. 21.05-01.191
 Казанцев А.Н. 21.05-01.334
 Калашников И.Е. 21.05-01.211
 Каленова В.И. 21.05-01.388
 Калинин М.С. 21.05-01.368
 Калининченко В.А. 21.05-01.35
 Калмыков А.П. 21.05-01.190
 Каменев П.А. 21.05-01.175
 Камышев А.В. 21.05-01.213
 Кан В. 21.05-01.264
 Канель Г.И. 21.05-01.159
 Канониди К.Х. 21.05-01.399
 Капинос С.А. 21.05-01.190
 Каплан М.А. 21.05-01.85
 Каплуненко Д.Д. 21.05-01.150
 Каплинский А.А. 21.05-01.11

Капорцева К.Б. 21.05-01.362
 Капралов П.О. 21.05-01.31
 Карабутов А.А. 21.05-01.124
 Карапетянц М.И. 21.05-01.195
 Карауш Е.А. 21.05-01.381
 Каргальцева Н.С. 21.05-01.325
 Каримов Д.Н. 21.05-01.110
 Карпачев А.Т. 21.05-01.361
 Карпова Е.Е. 21.05-01.247
 Карсканов С.А. 21.05-01.29
 Касахара Й. 21.05-01.265
 Касумов Х.М. 21.05-01.197
 Качанов В.К. 21.05-01.214
 Кведер В.В. 21.05-01.10, 21.05-01.11,
 21.05-01.12
 Керимова Т.Г. 21.05-01.112
 Киктенко Е.О. 21.05-01.363
 Ким К.И. 21.05-01.284
 Кириллов А.А. 21.05-01.133
 Киселев А.В. 21.05-01.298
 Киселев Н.Н. 21.05-01.303
 Китаева М.А. 21.05-01.335
 Кичигин Г.Н. 21.05-01.370
 Кишкина С.Б. 21.05-01.175
 Клайн Б.И. 21.05-01.186
 Клименко В.В. 21.05-01.243
 Клименченко Е.В. 21.05-01.206
 Климина Л.А. 21.05-01.36
 Климушкин К.Н. 21.05-01.245
 Клифрин Н.И. 21.05-01.374
 Ключников В.А. 21.05-01.46
 Князев М.А. 21.05-01.70
 Кобелева Л.И. 21.05-01.211
 Козлов А.В. 21.05-01.214
 Козлов В.В. 21.05-01.157,
 21.05-01.158
 Козлов Д.М. 21.05-01.138
 Козлов Д.С. 21.05-01.108
 Козлова Н.А. 21.05-01.291
 Колачевский Н.Н. 21.05-01.11
 Колесник Е.В. 21.05-01.170
 Колесников А.Ф. 21.05-01.132
 Колесников В.И. 21.05-01.246
 Колмаков А.Г. 21.05-01.85
 Колосов С.В. 21.05-01.32
 Кольмагина Е.А. 21.05-01.324
 Кондратьев Б.П. 21.05-01.296,
 21.05-01.318
 Кондратьева О.Е. 21.05-01.243
 Конов В.И. 21.05-01.95
 Коновалов С.В. 21.05-01.230
 Коновалова А.Ю. 21.05-01.390
 Коновалова Н.С. 21.05-01.404
 Константинова Е.А. 21.05-01.252
 Копылова Г.Н. 21.05-01.356,
 21.05-01.358
 Копытов А.В. 21.05-01.83
 Корепанов М.А. 21.05-01.123
 Корзникова Е.А. 21.05-01.81,
 21.05-01.93
 Корнеев В.А. 21.05-01.192
 Корноухов В.С. 21.05-01.296,
 21.05-01.318
 Королев Г.Л. 21.05-01.14
 Королева Е.Ю. 21.05-01.113
 Коротаев С.М. 21.05-01.363
 Корочанцев А.В. 21.05-01.305
 Корсков И.В. 21.05-01.222
 Корчагин М.А. 21.05-01.263
 Косарев Г.Л. 21.05-01.180
 Косарев И.Н. 21.05-01.135
 Косолапова Л.А. 21.05-01.90
 Котов В.М. 21.05-01.226
 Котова Г.А. 21.05-01.283
 Кохирова Г.И. 21.05-01.304

К

Кочаровский В.В. 21.05-01.279
Кочаровский Вл.В. 21.05-01.279
Кочарян Г.Г. 21.05-01.175
Кошелев А.В. 21.05-01.110
Кравцова А.С. 21.05-01.329
Кравцова М.В. 21.05-01.394
Краев А.И. 21.05-01.245
Крайнев М.Б. 21.05-01.368
Крамарев Н.И. 21.05-01.346
Краснов И.С. 21.05-01.137
Краснощеков Д.Н. 21.05-01.172,
21.05-01.173
Кронрод Е.В. 21.05-01.317
Крысько Н.В. 21.05-01.38,
21.05-01.44, 21.05-01.138
Куделькин В.В. 21.05-01.245
Куджаев А.У. 21.05-01.399
Кудряшов А.В. 21.05-01.135
Кузмич А.Г. 21.05-01.125
Кузнецов В.Б. 21.05-01.297
Кузнецов Г.Н. 21.05-01.139,
21.05-01.149
Кузнецов Г.П. 21.05-01.244
Кузнецов С.В. 21.05-01.107,
21.05-01.110
Кузьмин А.В. 21.05-01.203
Кузьмина Т.Г. 21.05-01.305
Кулешов А.П. 21.05-01.199
Куликовский А.Г. 21.05-01.19
Кульчин Ю.Н. 21.05-01.10
Кумамото А. 21.05-01.265
Куражковская Н.А. 21.05-01.186
Куреня А.Н. 21.05-01.399
Кусый А.Г. 21.05-01.38, 21.05-01.44,
21.05-01.138
Кутеева Г.А. 21.05-01.289
Кутень М.М. 21.05-01.51
Кучеренко П.А. 21.05-01.276
Кытина Е.В. 21.05-01.252

Л

Лавров Е.А. 21.05-01.381
Лавров И.В. 21.05-01.246
Лагойда И.А. 21.05-01.392
Лазаренко М.М. 21.05-01.125
Лазутин Л.Л. 21.05-01.360,
21.05-01.380
Лапичев Н.В. 21.05-01.190
Лаптухов А.И. 21.05-01.373
Лаптухов В.А. 21.05-01.373
Ларионов В.В. 21.05-01.39
Латышев А.В. 21.05-01.10
Лебедев А.В. 21.05-01.152
Лебедев А.И. 21.05-01.117
Левашов Н.Н. 21.05-01.382
Левский М.В. 21.05-01.277
Леднёв В.Н. 21.05-01.31
Лексиков Ан.А. 21.05-01.120
Леоненко М.В. 21.05-01.377
Леонтьева А.В. 21.05-01.74
Лидванский А.С. 21.05-01.399
Лидер А.М. 21.05-01.39
Липанов А.М. 21.05-01.29
Липатов И.И. 21.05-01.165,
21.05-01.166
Лисенкова Е.Е. 21.05-01.63
Литасов К.Д. 21.05-01.12
Литвак А.Г. 21.05-01.10
Литвиненко М.В. 21.05-01.157,
21.05-01.158
Литвиненко Ю.А. 21.05-01.157,
21.05-01.158
Лобковский Л.И. 21.05-01.171
Логачёв Ю.И. 21.05-01.360,

21.05-01.380
Локощенко А.М. 21.05-01.57
Локтионов О.А. 21.05-01.243
Ломакина В.А. 21.05-01.167
Ломасов В.Н. 21.05-01.301
Ломонов В.А. 21.05-01.109
Луканина Л.А. 21.05-01.367
Луковникова А.А. 21.05-01.393
Лукомский И.В. 21.05-01.132
Луньков А.А. 21.05-01.140,
21.05-01.141
Луценко И.С. 21.05-01.253
Льобутин П.С. 21.05-01.218
Льбушин А.А. 21.05-01.183,
21.05-01.356, 21.05-01.358
Ляпидевский В.Ю. 21.05-01.166

М

Мадвалиев У. 21.05-01.121,
21.05-01.128
Мадей Ю. 21.05-01.272
Майоров А.Г. 21.05-01.391
Макалкин А.Б. 21.05-01.288
Макаров Д.И. 21.05-01.267
Макаров М.М. 21.05-01.141
Маковчук В.Ю. 21.05-01.307,
21.05-01.308
Максимов А.Ф. 21.05-01.271
Максимов Ф.А. 21.05-01.76
Максимова Е.А. 21.05-01.41,
21.05-01.235
Малахов В.В. 21.05-01.391
Малахов В.Г. 21.05-01.90
Малащук В.М. 21.05-01.374
Маленков М.И. 21.05-01.291
Малова Х.В. 21.05-01.294,
21.05-01.382, 21.05-01.384
Мальшикина О.В. 21.05-01.116
Мальгин А.С. 21.05-01.400
Мамаев Д.В. 21.05-01.116
Мамедов Д.А. 21.05-01.115
Мамедов Н.Т. 21.05-01.115
Мамедова И.А. 21.05-01.112,
21.05-01.115
Мамышев В.И. 21.05-01.245
Мандель А.М. 21.05-01.247
Марков А.А. 21.05-01.41,
21.05-01.235
Марков В.В. 21.05-01.28
Марков В.Г. 21.05-01.228
Маров М.Я. 21.05-01.288,
21.05-01.308
Мартыненко А.В. 21.05-01.49
Мартынов А.К. 21.05-01.95
Мартыгов А.С. 21.05-01.21
Маснавиев Б.И. 21.05-01.135
Матафонов А.П. 21.05-01.260
Матвеев В.А. 21.05-01.10
Матвиенко Ю.Г. 21.05-01.53
Махмутов В.С. 21.05-01.368,
21.05-01.401
Махутов Н.А. 21.05-01.212,
21.05-01.234
Машанов А.А. 21.05-01.33,
21.05-01.87
Мельников А.А. 21.05-01.34
Мельничук С.В. 21.05-01.239
Месяц Г.А. 21.05-01.10, 21.05-01.11
Милехина О.Н. 21.05-01.194
Милюков В.К. 21.05-01.355
Миргазов Р.Р. 21.05-01.363
Митрофанова А.А. 21.05-01.271
Митрохин М.А. 21.05-01.203
Митрошенков Н.В. 21.05-01.110

Митрюкова Е.А. 21.05-01.123
Михайлов В.В. 21.05-01.392
Михайлов Е.А. 21.05-01.332
Михайлова Н.В. 21.05-01.91
Михалев А.В. 21.05-01.282
Михеев Д.В. 21.05-01.389
Мишакин В.В. 21.05-01.46
Могилевич Л.И. 21.05-01.65
Могилевский Е.И. 21.05-01.103
Могилевский М.М. 21.05-01.265
Могильнер Л.Ю. 21.05-01.38,
21.05-01.133, 21.05-01.210
Моисеев А.В. 21.05-01.274
Моисеенко И.Л. 21.05-01.265
Молотков И.А. 21.05-01.386
Мондрус В.Л. 21.05-01.107
Моргунов Ю.Н. 21.05-01.150
Морозов В.М. 21.05-01.388
Морозов О.В. 21.05-01.308
Москвичев Д.Ю. 21.05-01.162
Мошкин В.В. 21.05-01.118
Мукашев Б.Н. 21.05-01.134
Муравьев В.В. 21.05-01.119
Муравьева О.В. 21.05-01.119
Муртазаев А.К. 21.05-01.12
Мышкин Ю.В. 21.05-01.119
Мясникова М.Г. 21.05-01.204
Мясникова Н.В. 21.05-01.204

Н

Набиева С.А. 21.05-01.112
Надеждина И.Е. 21.05-01.291
Назаров А.И. 21.05-01.307,
21.05-01.308
Назаров В.Е. 21.05-01.71
Назаров С.А. 21.05-01.25,
21.05-01.104, 21.05-01.188
Назарова Е.А. 21.05-01.252
Намиот В.А. 21.05-01.258,
21.05-01.350, 21.05-01.353
Наумов А.В. 21.05-01.11
Наумов И.В. 21.05-01.167
Нгобени М.Д. 21.05-01.392
Нгуен М.Д. 21.05-01.360,
21.05-01.380
Недбай А.Я. 21.05-01.62
Нефедьев Ю.А. 21.05-01.317
Нечаев А.А. 21.05-01.279
Нечаев Д.И. 21.05-01.194
Нечипуренко Ю.Д. 21.05-01.3,
21.05-01.259
Нигматулин Р.И. 21.05-01.10
Никитаев Ю.А. 21.05-01.244
Никитин П.А. 21.05-01.99
Никишин Е.Л. 21.05-01.122
Никонова А.М. 21.05-01.32
Никонова Е.А. 21.05-01.241,
21.05-01.250
Новиков В.В. 21.05-01.110
Новикова Е.В. 21.05-01.229
Нугманов И.И. 21.05-01.305

О

Оболенцева М.А. 21.05-01.271
Овчинников В.М. 21.05-01.172,
21.05-01.173
Ожиганов Е.А. 21.05-01.230
Окальева Н.М. 21.05-01.404
Окулов В.Л. 21.05-01.167
Окулова Н.В. 21.05-01.167
Олемской С.В. 21.05-01.394
Оленева В.А. 21.05-01.376
Оленина И.В. 21.05-01.227

Онищенко О.Г. 21.05-01.260
 Орехова Д.А. 21.05-01.363
 Орлов А.А. 21.05-01.401
 Осетрова Н.В. 21.05-01.390
 Осипенко К.Ю. 21.05-01.240
 Осипов Д.А. 21.05-01.263
 Осипцов А.Н. 21.05-01.163
 Островский Л.А. 21.05-01.73
 Остросаблин Н.И. 21.05-01.86
 Ошурко В.Б. 21.05-01.247

П

Павлов А.К. 21.05-01.301
 Павлов Д.В. 21.05-01.175
 Павлов С.В. 21.05-01.136
 Павлова М.В. 21.05-01.122
 Павловский С.Е. 21.05-01.271
 Пальчиковская Н.В. 21.05-01.155
 Панасюк М.И. 21.05-01.397
 Панин С.В. 21.05-01.218
 Панкратов А.Л. 21.05-01.319
 Панченко Л.А. 21.05-01.259
 Пархоменко Е.Р. 21.05-01.252
 Пасманик Л.А. 21.05-01.213
 Пастухова Е.Н. 21.05-01.341
 Пацелов А.М. 21.05-01.161
 Пелиновский Е.Н. 21.05-01.72
 Перепёлкин В.В. 21.05-01.278
 Перминов В.И. 21.05-01.366
 Перов Д.В. 21.05-01.254
 Перцев Н.Н. 21.05-01.366
 Першин С.М. 21.05-01.31,
 21.05-01.247
 Песков Н.Ю. 21.05-01.262
 Петков В.Б. 21.05-01.399
 Петников В.Г. 21.05-01.140,
 21.05-01.141
 Петриев И.С. 21.05-01.253
 Петров М.В. 21.05-01.78
 Петров Н.А. 21.05-01.289
 Петров П.С. 21.05-01.142,
 21.05-01.150
 Петухов Ю.В. 21.05-01.147
 Петцольд М. 21.05-01.367
 Пивоваров А.А. 21.05-01.221,
 21.05-01.224
 Писаревский Ю.В. 21.05-01.109
 Писаренко В.Ф. 21.05-01.183
 Писецкий В.В. 21.05-01.190
 Пичугин Н.К. 21.05-01.214
 Плохов Д.И. 21.05-01.114
 Погодин М.А. 21.05-01.271
 Погонин В.И. 21.05-01.307,
 21.05-01.308
 Подзерко А.В. 21.05-01.205
 Подобная Е.Д. 21.05-01.176
 Подымова Н.Б. 21.05-01.124,
 21.05-01.211
 Поклад Ю.В. 21.05-01.182
 Полников В.Г. 21.05-01.151
 Полозов Р.В. 21.05-01.259
 Подухина Н.Г. 21.05-01.404
 Полюшко С.М. 21.05-01.245
 Поляков В.В. 21.05-01.77
 Полякова П.В. 21.05-01.15
 Помишин Е.К. 21.05-01.78
 Попандоццо Н.А. 21.05-01.290
 Попель С.И. 21.05-01.292,
 21.05-01.302, 21.05-01.383
 Попков А.А. 21.05-01.209
 Поплавной А.С. 21.05-01.83
 Попов А.И. 21.05-01.114
 Попов В.Ю. 21.05-01.294,
 21.05-01.382, 21.05-01.384

Попов П.А. 21.05-01.110
 Попов С.Б. 21.05-01.320
 Попова Е.П. 21.05-01.294
 Попова О.П. 21.05-01.176
 Потанин С.А. 21.05-01.342
 Потапкин А.В. 21.05-01.162
 Поталов И.И. 21.05-01.148
 Похотелов О.А. 21.05-01.260
 Преображенский В.Л. 21.05-01.118
 Преснов Д.А. 21.05-01.180
 Прохоренко С.А. 21.05-01.339
 Прямушкина И.И. 21.05-01.376
 Птицына Н.Г. 21.05-01.369
 Пудалов В.М. 21.05-01.12
 Пушанкина П.Д. 21.05-01.253
 Пушкин М.С. 21.05-01.161

Р

Радостин А.В. 21.05-01.213
 Раевский М.А. 21.05-01.145
 Раевских А.Н. 21.05-01.137
 Разоренов С.В. 21.05-01.159
 Рак М.Г. 21.05-01.388
 Ракуль И.В. 21.05-01.319
 Ральченко В.Г. 21.05-01.95
 Рамазанов М.М. 21.05-01.171
 Ранджбар М.Дж. 21.05-01.52
 Ратахин Н.А. 21.05-01.10
 Рахимов И.А. 21.05-01.322
 Рахманова Л.С. 21.05-01.378
 Рахматуллаева Ф.Дж. 21.05-01.304
 Ребезов М.Б. 21.05-01.85
 Редакционная коллегия 21.05-01.300
 Редколлегия 21.05-01.8
 Резвов Ю.Г. 21.05-01.127,
 21.05-01.129, 21.05-01.130,
 21.05-01.220
 Решина А.И. 21.05-01.16
 Решетняк М.Ю. 21.05-01.261
 Решмин А.И. 21.05-01.30
 Рига В.Ю. 21.05-01.174
 Ризниченко Г.Ю. 21.05-01.3
 Римская-Корсакова Л.К. 21.05-01.198
 Ринкевич А.Б. 21.05-01.254
 Роденко С.А. 21.05-01.391
 Родин А.Е. 21.05-01.333
 Родионов А.А. 21.05-01.198
 Родионова Ж.Ф. 21.05-01.285
 Родкин М.В. 21.05-01.183
 Ролан Ж.-П. 21.05-01.401
 Романцова Т.В. 21.05-01.265
 Роньшин Ф.В. 21.05-01.79
 Роскина Е.А. 21.05-01.307
 Роскина Е.Г. 21.05-01.308
 Ростовский В.С. 21.05-01.257
 Рубин А.Б. 21.05-01.3
 Руденко В.В. 21.05-01.239
 Руденко О.В. 21.05-01.75
 Русаков Ю.С. 21.05-01.153
 Русол А.В. 21.05-01.287,
 21.05-01.288
 Русских С.В. 21.05-01.59
 Рухадзе А.А. 21.05-01.96
 Рыбаков Е.А. 21.05-01.280
 Рыбнов Ю.С. 21.05-01.179,
 21.05-01.182, 21.05-01.359
 Рыжов В.Н. 21.05-01.12
 Рыжова А.О. 21.05-01.209,
 21.05-01.236
 Рымкевич А.И. 21.05-01.47
 Рябкин Ю.А. 21.05-01.134
 Рябинин А.В. 21.05-01.126
 Рябинин А.Н. 21.05-01.169
 Рябов Д.А. 21.05-01.233
 Рябова Н.А. 21.05-01.386
 Рябова С.А. 21.05-01.185,
 21.05-01.354
 Рязжская О.Г. 21.05-01.400
 Рязанцева М.О. 21.05-01.378
 Ряховский И.А. 21.05-01.182

С

Савелова Е.П. 21.05-01.133
 Савин А.С. 21.05-01.105
 Савин С.С. 21.05-01.95
 Савиных А.С. 21.05-01.159
 Садикова Д.Г. 21.05-01.67
 Садовский М.В. 21.05-01.12
 Садыхов М.В. 21.05-01.223
 Сажина О.С. 21.05-01.330
 Сазонов С.Ю. 21.05-01.339
 Салита Д.С. 21.05-01.77
 Салихов К.М. 21.05-01.11
 Салихов Т.Х. 21.05-01.121,
 21.05-01.128
 Салов В.А. 21.05-01.56
 Салтыков В.А. 21.05-01.357
 Самокрутов А.А. 21.05-01.214
 Самченко А.Н. 21.05-01.221,
 21.05-01.224
 Сангадиев С.Ш. 21.05-01.88
 Сандитов Д.С. 21.05-01.33,
 21.05-01.87, 21.05-01.88
 Санина И.А. 21.05-01.182
 Сапунова О.В. 21.05-01.375
 Сафронов В.В. 21.05-01.307,
 21.05-01.308
 Сахаров В.И. 21.05-01.132
 Свертилов С.И. 21.05-01.397
 Свецов В.В. 21.05-01.176,
 21.05-01.178
 Свиржевская А.К. 21.05-01.368
 Свиржевский Н.С. 21.05-01.368
 Сдобнов В.Е. 21.05-01.394
 Севостьянов М.А. 21.05-01.85
 Седнев Д.А. 21.05-01.39
 Седов В.С. 21.05-01.95
 Семенов А.В. 21.05-01.92
 Семенов А.С. 21.05-01.93
 Семёнов В.Е. 21.05-01.96
 Семёнов С.Л. 21.05-01.242
 Сенин В.Г. 21.05-01.305
 Серафимова Ю.К. 21.05-01.356
 Сергеев А.М. 21.05-01.10
 Сергеев А.С. 21.05-01.262
 Сергеев С.Г. 21.05-01.336
 Сергеев Н.П. 21.05-01.371
 Сердюк В.О. 21.05-01.363
 Сизова М.Д. 21.05-01.331
 Силакова Ю.Г. 21.05-01.148
 Синицкий С.Л. 21.05-01.262
 Синцов М.А. 21.05-01.119
 Скворцов Д.Ф. 21.05-01.212
 Скоробогатых И.В. 21.05-01.278
 Скорыходов С.Л. 21.05-01.160
 Скрышников С.В. 21.05-01.38,
 21.05-01.44
 Скуридин Н.Н. 21.05-01.210
 Славин Дж.А. 21.05-01.283
 Слюта Е.Н. 21.05-01.307,
 21.05-01.308
 Слядников Е.Е. 21.05-01.82
 Смирнов В.М. 21.05-01.367
 Смирнов Е.М. 21.05-01.170
 Смирнов И.В. 21.05-01.91,
 21.05-01.263
 Смолевич А.М. 21.05-01.351
 Содагар С. 21.05-01.52

Соколов Д.А. 21.05-01.381
 Соколов И.В. 21.05-01.214
 Соколов Л.Л. 21.05-01.289
 Соколов С.В. 21.05-01.276
 Соколова А.Г. 21.05-01.212
 Сороин М.А. 21.05-01.142
 Сорокин М.А. 21.05-01.150
 Сорокин Н.И. 21.05-01.109
 Соустова И.А. 21.05-01.73
 Софиева В.Ф. 21.05-01.264
 Спивак А.А. 21.05-01.179,
 21.05-01.359
 Спиридонов Е.К. 21.05-01.205
 Старков Н.И. 21.05-01.404
 Стародубцев С.А. 21.05-01.398
 Стеблянко Д.В. 21.05-01.232
 Степанов А.Н. 21.05-01.149
 Степанова Л.Н. 21.05-01.51,
 21.05-01.236
 Стожаров В.М. 21.05-01.98
 Стожков Ю.И. 21.05-01.368,
 21.05-01.401
 Стрельцов С.В. 21.05-01.12
 Строганов А.В. 21.05-01.248
 Суаридзе Т.Р. 21.05-01.255
 Султанова Г.Г. 21.05-01.197
 Супин А.Я. 21.05-01.194
 Суржигов А.П. 21.05-01.78
 Суржигов С.Т. 21.05-01.131
 Сурис Р.А. 21.05-01.11, 21.05-01.12
 Сурова Г.М. 21.05-01.360,
 21.05-01.380
 Суровцев Н.В. 21.05-01.12
 Сухинец Ж.А. 21.05-01.228
 Сучилин А.В. 21.05-01.122
 Счастливцев В.М. 21.05-01.255
 Сысоев Н.Н. 21.05-01.27
 Сычев А.П. 21.05-01.246
 Сычёв Вик.В. 21.05-01.14

Т

Тавров А.В. 21.05-01.286,
 21.05-01.298
 Тазиев Р.М. 21.05-01.106
 Талипова Т.Г. 21.05-01.72
 Тамбовцев А.С. 21.05-01.157,
 21.05-01.158
 Татаренкова Д.И. 21.05-01.27
 Тацкий Л.П. 21.05-01.307,
 21.05-01.308
 Тепеницына Н.Ю. 21.05-01.379
 Терентьев Е.В. 21.05-01.234
 Терентьева А.К. 21.05-01.299
 Терешин А.Г. 21.05-01.243
 Тимашев С.Ф. 21.05-01.402
 Титов С.А. 21.05-01.196
 Тихонов Д.С. 21.05-01.37,
 21.05-01.43, 21.05-01.50
 Тихонов Н.А. 21.05-01.268
 Томилова И.В. 21.05-01.290,
 21.05-01.306
 Томозова М.С. 21.05-01.194
 Торгашин С.И. 21.05-01.201
 Травов Ю.Ф. 21.05-01.190
 Тримонова М.А. 21.05-01.229
 Трифонов В.В. 21.05-01.30
 Троицкая Ю.И. 21.05-01.108
 Трубицына Н.Г. 21.05-01.296
 Тсучия Ф. 21.05-01.265
 Туйчиев Х.Ш. 21.05-01.121,
 21.05-01.128
 Турунтаев С.Б. 21.05-01.174,
 21.05-01.229
 Турчановский И.Ю. 21.05-01.82

Тутуков А.В. 21.05-01.331,
 21.05-01.405
 Тычков А.Ю. 21.05-01.199,
 21.05-01.201, 21.05-01.202,
 21.05-01.203
 Тыщенко А.Г. 21.05-01.142
 Тюков В.Э. 21.05-01.404
 Тюльбашев С.А. 21.05-01.266,
 21.05-01.335
 Тюльбашева Г.Э. 21.05-01.335
 Тюрнев В.В. 21.05-01.120
 Тютрин И.И. 21.05-01.239

У

Углов А.Л. 21.05-01.45, 21.05-01.233
 Угрюмов Р.И. 21.05-01.86
 Удут В.В. 21.05-01.239
 Узких А.А. 21.05-01.217
 Усольцева О.А. 21.05-01.173
 Утесинов В.Н. 21.05-01.28
 Уцын Г.Е. 21.05-01.78
 Ушаков В.М. 21.05-01.47

Ф

Фатеев В.Ф. 21.05-01.280
 Федоренко С.А. 21.05-01.214
 Федорова В.А. 21.05-01.333
 Федорова Е.И. 21.05-01.336
 Федорова О.В. 21.05-01.264
 Федотова Е.В. 21.05-01.243
 Филимонова Н.А. 21.05-01.400
 Филиппов М.В. 21.05-01.401
 Фомин Л.В. 21.05-01.57
 Фридман М.В. 21.05-01.350
 Фролов Д.А. 21.05-01.301

Х

Хабарова Д.Ф. 21.05-01.205
 Хаердинов М.Н. 21.05-01.399
 Хаердинов Н.С. 21.05-01.399
 Хайбрахманов С.А. 21.05-01.325
 Хакимова З.Р. 21.05-01.231
 Халиуллина А.И. 21.05-01.316
 Харламов В.А. 21.05-01.359
 Харламов П.Г. 21.05-01.381
 Харлов Б.Н. 21.05-01.308
 Харшиладзе О.А. 21.05-01.181
 Хафизова К.К. 21.05-01.217
 Хинич И.И. 21.05-01.98
 Хищенко К.В. 21.05-01.1К
 Хлебникова Ю.В. 21.05-01.255
 Хлыбов А.А. 21.05-01.45,
 21.05-01.233
 Хмелев В.Н. 21.05-01.89
 Хмелев М.В. 21.05-01.89
 Ховричев М.Ю. 21.05-01.271
 Ходыков М.В. 21.05-01.259
 Хоряк М.Н. 21.05-01.239
 Хохол Д. 21.05-01.329
 Хохрякова А.Д. 21.05-01.320
 Хузяганиев И.А. 21.05-01.210

Ц

Цао И. 21.05-01.215
 Цап Ю.Т. 21.05-01.374
 Царев И.С. 21.05-01.63
 Царева О.О. 21.05-01.294
 Цибинов З.С. 21.05-01.245
 Пуриков С.А. 21.05-01.34
 Цурков Д.А. 21.05-01.301
 Цыганок С.Н. 21.05-01.89

Цымбал В.В. 21.05-01.272
 Цыпкин Г.Г. 21.05-01.66, 21.05-01.68

Ч

Чаплыгин А.В. 21.05-01.132
 Чашей И.В. 21.05-01.367
 Чашечкин Ю.Д. 21.05-01.80,
 21.05-01.100, 21.05-01.101,
 21.05-01.102
 Чебаков М.И. 21.05-01.40
 Чен Г. 21.05-01.215
 Ченцов Е.Л. 21.05-01.270
 Ченцов В.С. 21.05-01.301
 Черепашук А.М. 21.05-01.330
 Чернов Д.В. 21.05-01.53,
 21.05-01.212, 21.05-01.234
 Чернов И.А. 21.05-01.199,
 21.05-01.203
 Чернов С.В. 21.05-01.323
 Чернова Т.Г. 21.05-01.343
 Чернышов А.А. 21.05-01.265
 Чернышова И.А. 21.05-01.116
 Чернявский М.М. 21.05-01.404
 Чертищев В.Ю. 21.05-01.137
 Чесноков А.А. 21.05-01.166
 Чиннов Е.А. 21.05-01.79
 Чичерина А.Д. 21.05-01.30
 Чугайнова А.П. 21.05-01.19
 Чугунин Д.В. 21.05-01.265
 Чумиков А.Е. 21.05-01.301
 Чураков П.П. 21.05-01.199,
 21.05-01.200, 21.05-01.201,
 21.05-01.202, 21.05-01.203
 Чуркин К.О. 21.05-01.317
 Чухарев А.М. 21.05-01.144

Ш

Шабанов Д.А. 21.05-01.120
 Шагапов В.Ш. 21.05-01.231
 Шагимуратов И.И. 21.05-01.379
 Шакирзянов Ф.Н. 21.05-01.389
 Шакирьянов М.М. 21.05-01.23
 Шакирьянова И.Р. 21.05-01.400
 Шалагин А.М. 21.05-01.10,
 21.05-01.11
 Шалимов С.Л. 21.05-01.185,
 21.05-01.354
 Шамсиддинов Ш.Ш. 21.05-01.303
 Шаповалов Е.В. 21.05-01.245
 Шапошников И.А. 21.05-01.342
 Шарафиев З.З. 21.05-01.175
 Шариф М. 21.05-01.387
 Шарифов Д.М. 21.05-01.121,
 21.05-01.128
 Шарифуллин Б.Р. 21.05-01.167
 Шатравин А.В. 21.05-01.140,
 21.05-01.141
 Шатский Н.И. 21.05-01.342
 Шахворостова Н.Н. 21.05-01.315
 Шашкова И.А. 21.05-01.286,
 21.05-01.298
 Швырев А.Н. 21.05-01.221,
 21.05-01.224
 Шевалдыкин В.Г. 21.05-01.214
 Шевченко В.В. 21.05-01.285
 Шевченко И.И. 21.05-01.349
 Шелухин А.А. 21.05-01.208
 Шематович В.И. 21.05-01.293,
 21.05-01.337
 Шенель Л. 21.05-01.188
 Шепелев И.А. 21.05-01.93
 Шешин Е.П. 21.05-01.135
 Шклярчук Ф.Н. 21.05-01.59

Шлёнский О.Ф. 21.05-01.1К
Шлык Н.С. 21.05-01.376
Шмаков А.Г. 21.05-01.157,
21.05-01.158
Шматков А.М. 21.05-01.60
Шмигирилов Р.В. 21.05-01.169
Шмидт Е.Е. 21.05-01.310
Шпильной В.Ю. 21.05-01.48
Шубин В.Н. 21.05-01.372
Шувалов В.В. 21.05-01.176,
21.05-01.178
Шувалов С.Д. 21.05-01.284
Шугай Ю.С. 21.05-01.362
Шугаров С.Ю. 21.05-01.336
Шустин Е.Г. 21.05-01.97
Шутенко В.В. 21.05-01.390

Щ

Щедрина Т.В. 21.05-01.404
Щербаков И.А. 21.05-01.11,
21.05-01.12
Щуров М.А. 21.05-01.315

Э

Эскин Б.Б. 21.05-01.289

Ю

Юдаев А.В. 21.05-01.286,
21.05-01.298
Юдин А.В. 21.05-01.346
Юлбарисов Р.Ф. 21.05-01.391

Я

Яблоков А.А. 21.05-01.319
Явруян О.В. 21.05-01.20
Якимова Г.А. 21.05-01.379
Яковлев В.Б. 21.05-01.246
Яковлев О.Я. 21.05-01.286,
21.05-01.298
Яковчук О.С. 21.05-01.360,
21.05-01.380
Якупов Б.А. 21.05-01.91
Якуш С.Е. 21.05-01.102
Якушев В.Ф.(и коллаборация LVD)
21.05-01.400
Ямановская А.Ю. 21.05-01.48
Янке В.Г. 21.05-01.376
Яо Ф. 21.05-01.215
Ярошук И.О. 21.05-01.221,
21.05-01.224
Ястребов А.Д. 21.05-01.248

УКАЗАТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ

Журналы

- Акустический журнал. 2021. 67, № 5 21.05-01.65,
21.05-01.124, 21.05-01.139, 21.05-01.142, 21.05-01.145,
21.05-01.147, 21.05-01.150, 21.05-01.152, 21.05-01.191,
21.05-01.194, 21.05-01.196, 21.05-01.232
- Астрон. ж. 2021. 98, № 7 21.05-01.315, 21.05-01.316,
21.05-01.317, 21.05-01.318, 21.05-01.319, 21.05-01.320
- Астрон. ж. 2021. 98, № 8 21.05-01.321, 21.05-01.322,
21.05-01.323, 21.05-01.324, 21.05-01.325, 21.05-01.326
- Астрон. ж. 2021. 98, № 9 21.05-01.327, 21.05-01.328,
21.05-01.329, 21.05-01.330, 21.05-01.331
- Астрон. ж. 2021. 98, № 10 21.05-01.332, 21.05-01.333,
21.05-01.334, 21.05-01.335, 21.05-01.336, 21.05-01.337,
21.05-01.338
- Астрономический вестник. 2021. 55, № 3 21.05-01.6,
21.05-01.285, 21.05-01.286, 21.05-01.287, 21.05-01.288,
21.05-01.289, 21.05-01.290
- Астрономический вестник. 2021. 55, № 4 21.05-01.291,
21.05-01.292, 21.05-01.293, 21.05-01.294, 21.05-01.295,
21.05-01.296, 21.05-01.297, 21.05-01.298, 21.05-01.299,
21.05-01.300
- Астрономический вестник. 2021. 55, № 5 21.05-01.301,
21.05-01.302, 21.05-01.303, 21.05-01.304, 21.05-01.305,
21.05-01.306, 21.05-01.307, 21.05-01.308, 21.05-01.309,
21.05-01.310, 21.05-01.311
- Астрофизический бюллетень. 2021. 76, № 3 21.05-01.266,
21.05-01.267, 21.05-01.268, 21.05-01.269, 21.05-01.270,
21.05-01.271, 21.05-01.272, 21.05-01.273, 21.05-01.274
- Биофизика. 2019. 64, № 3 21.05-01.2
- Биофизика. 2020. 65, № 1 21.05-01.258
- Биофизика. 2020. 65, № 3 21.05-01.259
- Биофизика. 2021. 66, № 1 21.05-01.3
- Биофизика. 2021. 66, № 2 21.05-01.67, 21.05-01.197,
21.05-01.198
- Биофизика. 2021. 66, № 5 21.05-01.350, 21.05-01.351,
21.05-01.352, 21.05-01.353
- Геомагнетизм и аэронавигация. 2021. 61, № 1 21.05-01.181,
21.05-01.182, 21.05-01.260, 21.05-01.360, 21.05-01.361
- Геомагнетизм и аэронавигация. 2021. 61, № 2 21.05-01.261,
21.05-01.362, 21.05-01.363, 21.05-01.364, 21.05-01.365,
21.05-01.366
- Геомагнетизм и аэронавигация. 2021. 61, № 3 21.05-01.367,
21.05-01.368, 21.05-01.369, 21.05-01.370, 21.05-01.371,
21.05-01.372
- Геомагнетизм и аэронавигация. 2021. 61, № 5 21.05-01.373,
21.05-01.374, 21.05-01.375, 21.05-01.376, 21.05-01.377,
21.05-01.378, 21.05-01.379, 21.05-01.380
- Дефектоскопия. 2020, № 11 21.05-01.207, 21.05-01.208,
21.05-01.209, 21.05-01.210
- Дефектоскопия. 2020, № 12 21.05-01.119, 21.05-01.137,
21.05-01.211, 21.05-01.212, 21.05-01.213
- Дефектоскопия. 2021, № 1 21.05-01.138, 21.05-01.214,
21.05-01.215, 21.05-01.233, 21.05-01.234
- Дефектоскопия. 2021, № 2 21.05-01.78, 21.05-01.216,
21.05-01.217, 21.05-01.218
- Дефектоскопия. 2021, № 3 21.05-01.235
- Дефектоскопия. 2021, № 4 21.05-01.37, 21.05-01.236
- Дефектоскопия. 2021, № 5 21.05-01.38, 21.05-01.39,
21.05-01.40, 21.05-01.41, 21.05-01.237, 21.05-01.238
- Дефектоскопия. 2021, № 6 21.05-01.42, 21.05-01.43,
21.05-01.44
- Дефектоскопия. 2021, № 7 21.05-01.45, 21.05-01.46
- Дефектоскопия. 2021, № 8 21.05-01.47, 21.05-01.48,
21.05-01.49
- Дефектоскопия. 2021, № 9 21.05-01.50, 21.05-01.51,
21.05-01.52, 21.05-01.53
- Дефектоскопия. 2021, № 10 21.05-01.20, 21.05-01.21,
21.05-01.22
- Доклады Российской академии наук. Физика, технические
науки. 2021. 496, № 1 21.05-01.23, 21.05-01.66,
21.05-01.85, 21.05-01.86, 21.05-01.95, 21.05-01.100,
21.05-01.141, 21.05-01.157, 21.05-01.158, 21.05-01.159,
21.05-01.165, 21.05-01.188, 21.05-01.279, 21.05-01.280
- Доклады Российской академии наук. Физика, технические
науки. 2021. 497, № 1 21.05-01.19, 21.05-01.24,
21.05-01.27, 21.05-01.30, 21.05-01.60, 21.05-01.87,
21.05-01.88, 21.05-01.101, 21.05-01.120, 21.05-01.155,
21.05-01.167, 21.05-01.242, 21.05-01.243, 21.05-01.244
- Доклады Российской академии наук. Физика, технические
науки. 2021. 498, № 1 21.05-01.25, 21.05-01.31,
21.05-01.61, 21.05-01.62, 21.05-01.75, 21.05-01.102,
21.05-01.149, 21.05-01.245, 21.05-01.246, 21.05-01.247,
21.05-01.248, 21.05-01.249, 21.05-01.250
- Доклады Российской академии наук. Физика, технические
науки. 2021. 499, № 1 21.05-01.79, 21.05-01.80,
21.05-01.104, 21.05-01.118, 21.05-01.133, 21.05-01.251,
21.05-01.252, 21.05-01.253, 21.05-01.254, 21.05-01.255,
21.05-01.256, 21.05-01.281
- Ж. эксперим. и теор. физ. 2021. 160, № 4 21.05-01.156,
21.05-01.387
- Журнал вычислительной математики и математической
физики. 2020. 60, № 12 21.05-01.28, 21.05-01.160
- Журнал математической физики, анализа, геометрии. 2019.
15, № 3 21.05-01.313
- Журнал прикладной спектроскопии. 2019. 86, № 6
21.05-01.121
- Журнал Сибирского Федерального университета. Математика
и физика. 2020. 13, № 5 21.05-01.84
- Журнал Сибирского Федерального университета. Математика
и физика. 2020. 13, № 6 21.05-01.312
- Журнал Сибирского Федерального университета. Математика
и физика. 2021. 14, № 1 21.05-01.26
- Журнал Сибирского Федерального университета. Математика
и физика. 2021. 14, № 4 21.05-01.146, 21.05-01.168
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 1 21.05-01.17,
21.05-01.71, 21.05-01.82, 21.05-01.91, 21.05-01.92,
21.05-01.128
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 2 21.05-01.125
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 3 21.05-01.190
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 4 21.05-01.162
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 5 21.05-01.169,
21.05-01.170
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 6 21.05-01.126
- Журнал технической физики. 2021. 91, № 8 21.05-01.127
- Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2020. 28,
№ 5 21.05-01.96
- Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2020. 28,
№ 6 21.05-01.262
- Известия вузов. Физика. 2020. 63, № 12 21.05-01.239
- Известия вузов. Физика. 2021. 64, № 1 21.05-01.187,
21.05-01.193, 21.05-01.257
- Известия вузов. Физика. 2021. 64, № 2 21.05-01.134
- Известия вузов. Физика. 2021. 64, № 3 21.05-01.32,
21.05-01.189, 21.05-01.314
- Известия вузов. Физика. 2021. 64, № 4 21.05-01.70
- Известия вузов. Физика. 2021. 64, № 5 21.05-01.33
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2015, № 2 21.05-01.200
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2017, № 3 21.05-01.201
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2019, № 3 21.05-01.202
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2019, № 4 21.05-01.204
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2021, № 2 21.05-01.136,
21.05-01.203
- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Технические науки. 2021, № 3 21.05-01.34
- Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020.
63, № 10 21.05-01.381

- Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. 64, № 1 **21.05-01.122**
- Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2021, № 6
21.05-01.8, 21.05-01.13, 21.05-01.14, 21.05-01.35,
21.05-01.68, 21.05-01.76, 21.05-01.103, 21.05-01.105,
21.05-01.131, 21.05-01.132, 21.05-01.151, 21.05-01.163,
21.05-01.164, 21.05-01.166, 21.05-01.171
- Известия РАН. Серия физическая. 2021. 85, № 11
21.05-01.389, 21.05-01.390, 21.05-01.391, 21.05-01.392,
21.05-01.393, 21.05-01.394, 21.05-01.395, 21.05-01.396,
21.05-01.397, 21.05-01.398, 21.05-01.399, 21.05-01.400,
21.05-01.401, 21.05-01.402
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. 56, № 5
21.05-01.154
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. 56, № 6
21.05-01.72, 21.05-01.264
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. 57, № 2
21.05-01.73, 21.05-01.108, 21.05-01.148
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. 57, № 3
21.05-01.143
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. 57, № 5
21.05-01.144
- Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 4 **21.05-01.54, 21.05-01.55, 21.05-01.56,**
21.05-01.57, 21.05-01.74, 21.05-01.192, 21.05-01.275,
21.05-01.276
- Известия российской академии наук. Механика твердого тела. 2021, № 5 **21.05-01.18, 21.05-01.58, 21.05-01.59,**
21.05-01.240, 21.05-01.241, 21.05-01.277, 21.05-01.278
- Исследование Земли из Космоса. 2021, № 1 **21.05-01.4**
- Исследование Земли из Космоса. 2021, № 3 **21.05-01.5**
- Космические исследования. 2021. 59, № 6 **21.05-01.282,**
21.05-01.283, 21.05-01.284
- Океанология. 2021. 61, № 4 **21.05-01.140**
- Письма в Астрон. ж. 2021. 47, № 8 **21.05-01.339,**
21.05-01.340, 21.05-01.341, 21.05-01.342, 21.05-01.343
- Письма в Астрон. ж. 2021. 47, № 9 **21.05-01.344,**
21.05-01.345, 21.05-01.346, 21.05-01.347, 21.05-01.348,
21.05-01.349
- Письма в ЖЭТФ. 2021. 113, № 12 **21.05-01.403**
- Письма в ЖЭТФ. 2021. 114, № 1 **21.05-01.265**
- Приборы и техника эксперимента. 2020, № 5 **21.05-01.153,**
21.05-01.219
- Приборы и техника эксперимента. 2020, № 6 **21.05-01.220,**
21.05-01.221
- Приборы и техника эксперимента. 2021, № 2 **21.05-01.222**
- Приборы и техника эксперимента. 2021, № 3 **21.05-01.223,**
21.05-01.224
- Приборы и техника эксперимента. 2021, № 4 **21.05-01.195,**
21.05-01.205, 21.05-01.225, 21.05-01.226, 21.05-01.227
- Приборы и техника эксперимента. 2021, № 5 **21.05-01.129,**
21.05-01.130
- Приборы и техника эксперимента. 2021, № 6 **21.05-01.228**
- Прикл. мат. и мех. 2021. 85, № 2 **21.05-01.36, 21.05-01.63**
- Прикл. мат. и мех. 2021. 85, № 3 **21.05-01.64, 21.05-01.69,**
21.05-01.107
- Прикл. мат. и мех. 2021. 85, № 4 **21.05-01.388**
- Тр. МФТИ. 2021. 13, № 3 **21.05-01.135, 21.05-01.199**
- УФН. 2021. 191, № 9 **21.05-01.404**
- УФН. 2021. 191, № 10 **21.05-01.10, 21.05-01.11,**
21.05-01.12, 21.05-01.405
- Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2021. 163, № 1
21.05-01.16, 21.05-01.90, 21.05-01.231
- Ученые записки физического ф-та МГУ. 2021, № 4
21.05-01.382
- Физика Земли. 2021, № 1 **21.05-01.179, 21.05-01.354**
- Физика Земли. 2021, № 2 **21.05-01.172, 21.05-01.183,**
21.05-01.355, 21.05-01.356, 21.05-01.357, 21.05-01.358
- Физика Земли. 2021, № 4 **21.05-01.180, 21.05-01.184**
- Физика Земли. 2021, № 5 **21.05-01.173, 21.05-01.174,**
21.05-01.175, 21.05-01.176, 21.05-01.177, 21.05-01.178,
21.05-01.229, 21.05-01.359
- Физика Земли. 2021, № 6 **21.05-01.185, 21.05-01.186**
- Физика плазмы. 2021. 47, № 1 **21.05-01.9**
- Физика плазмы. 2021. 47, № 6 **21.05-01.97**
- Физика плазмы. 2021. 47, № 8 **21.05-01.383**
- Физика плазмы. 2021. 47, № 9 **21.05-01.384, 21.05-01.385,**
21.05-01.386
- Физика твердого тела. 2020. 62, № 3 **21.05-01.109**
- Физика твердого тела. 2020. 62, № 4 **21.05-01.110**
- Физика твердого тела. 2020. 62, № 8 **21.05-01.111,**
21.05-01.112
- Физика твердого тела. 2020. 62, № 10 **21.05-01.113**
- Физика твердого тела. 2021. 63, № 3 **21.05-01.114**
- Физика твердого тела. 2021. 63, № 5 **21.05-01.98**
- Физика твердого тела. 2021. 63, № 10 **21.05-01.115**
- Физика твердого тела. 2021. 63, № 11 **21.05-01.116**
- Физика твердого тела. 2021. 63, № 12 **21.05-01.117**
- Физическая мезомеханика. 2021. 24, № 4 **21.05-01.263**
- Физические основы приборостроения. 2021. 10, № 2
21.05-01.7, 21.05-01.99
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. 17, № 1 **21.05-01.77**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. 17, № 2 **21.05-01.81, 21.05-01.83, 21.05-01.93**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. 17, № 3 **21.05-01.106**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. 17, № 4 **21.05-01.15**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2021. 18, № 1 **21.05-01.94, 21.05-01.161, 21.05-01.230**
- Химическая физика и мезоскопия. 2021. 23, № 2
21.05-01.29, 21.05-01.123
- Южно-Сибирский научный вестник. 2021, № 3 **21.05-01.206**
- Южно-Сибирский научный вестник. 2021, № 4 **21.05-01.89**

Книги

Неравновесная акустика. 2021 **21.05-01.1К**

СОДЕРЖАНИЕ

Библиография	21.05-01.1
Персоналии	21.05-01.4
Классические проблемы линейной акустики и теории волн	21.05-01.13
Нелинейная акустика	21.05-01.70
Физическая акустика	21.05-01.83
Акустика океана, гидроакустика	21.05-01.139
Атмосферная и аэроакустика	21.05-01.151
Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика	21.05-01.171
Акустическая экология; Шумы и вибрации	21.05-01.187
Акустика помещений; Музыкальная акустика	21.05-01.193
Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование	21.05-01.194
Акустика живых систем; Биологическая акустика	21.05-01.197
Физические основы технической акустики	21.05-01.204
Акустика в медицинской практике	21.05-01.239
Физика	21.05-01.240
Астрономия	21.05-01.266
Авторский указатель Указатель источников	