

УДК 519.688

*А. В. Гасников^{1,2}, П. Е. Двуреченский^{2,4}, В. Г. Спокойный^{1,2,3,4}, П. И. Стецюк⁵,
А. Л. Суворикова^{1,2,6}*

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт проблем передачи информации РАН

³Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

⁴Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, Berlin

⁵Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины

⁶The International Research Training Group 1792, Berlin

Суперпозиция метода балансировки и универсального градиентного метода для поиска энтропийно-регуляризованного барицентра Вассерштейна и равновесий в многостадийных моделях транспортных потоков

Представлен обзор современных численных методов поиска барицентра Вассерштейна конечного семейства вероятностных мер с одинаковым конечным носителем. Такие задачи в последнее время стали очень популярны в связи с всевозможными приложениями к сравнительному анализу изображений, в частности, к обнаружению разладок в ряде изображений. Например, подобные задачи возникают при изучении деятельности головного мозга.

В основном мы исходили из цикла работ М. Cuturi с соавторами. Общая идея этих работ – найти барицентр вероятностных мер согласно энтропийно-регуляризованному расстоянию Вассерштейна. Такое (регуляризованное) расстояние можно заметно эффективнее посчитать, чем исходное расстояние Вассерштейна. В одной из работ отмеченного цикла [8] содержалась идея сочетания метода Синхорна (балансировки) для решения внутренней задачи (расчета соответствующих регуляризованных расстояний и их субградиентов) и быстрого градиентного метода для решения внешней задачи (поиск барицентра). К сожалению, в описанном авторами виде метод оказался не пригодным для использования на практике (не было также никаких теоретических гарантий его сходимости). В [1] показано, как можно доработать данный метод (в частности, доказана сходимость предложенной модификации). Однако мы были сконцентрированы на другом приложении (к поиску равновесий в многостадийных транспортных моделях).

В данной работе мы рассматриваем оба отмеченных приложения. Главным результатом работы является разработка в общем случае (не только для этих двух приложений) концепции суперпозиции методов, когда мы можем выделить в исходной задаче часть переменных, по которым задача эффективно решается внутренним методом (но допускается, что лишь приближенно) при замороженных остальных переменных. А по оставшейся группе переменных запускается внешний метод, на каждой итерации которого требуется запускать внутренний метод. В статье получен частичный ответ на довольно общий вопрос: как оптимально сочетать эти методы (внутренней и внешний), т.е. насколько точно надо решать на каждой итерации внешнего метода внутреннюю задачу, чтобы минимизировать общее время работы метода при заданной точности решения, которую хотим получить?

Ключевые слова: седловая задача, энтропия, метод балансировки, метод Синхорна, универсальный метод, неточный оракул, задача Монжа–Канторовича, расстояние Вассерштейна, барицентр Вассерштейна.

A. V. Gasnikov^{1,2}, *P. E. Dvurechensky*^{2,4}, *V. G. Spokoiny*^{1,2,3,4}, *P. I. Stetsyuk*⁵,
A. L. Suvorikova^{1,2,6}

¹Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

²Institute for Information Transmission Problems RAS

³Higher School of Economics National Research University

⁴Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, Berlin

⁵V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine

⁶The International Research Training Group 1792, Berlin

Superposition of the balancing algorithm and the universal gradient method for search of the regularized Wasserstein barycenter and equilibria in multistage transport models

The paper presents a survey of modern computational algorithms the mean (in the sense of 2–Wasserstein distance) of a finite set of empirical probability measures. Each measure is assumed to have the same support. The problem is quite popular due to numerous applications to comparative image analysis, for example the detection of structural changes in a set of fMRI images.

The work is inspired by a number of papers written by M. Cuturi and his colleagues. They propose to use regularized 2–Wasserstein distance instead of the original one. The new approach significantly improves computational efficiency. The paper [8] proposes to combine Sinkhorn algorithm with the fast gradient method. The first algorithm computes the regularized distance and its subgradient, while the second one is used for barycenter search. However, this approach uses some predefined parameters that cannot be selected in practice. Moreover, there is no theoretical guarantee that it converges. The paper [1] proposes a modification of the algorithm, which solves the above problems.

The work [1] is mainly focused on searching equilibria in the multistage traffic model, whereas this paper investigates its application to the search for Wasserstein barycenters. The key result is a general concept that allows constructing the superposition of algorithms.

It is used if the assumption holds. The set of variables can be divided into two groups (A) and (B), s.t. by fixing (A) one can obtain (an inexact) solution by (B). Thus, the initial problem can be reduced to successive optimization by (A) and (B). The present work aims to answer the following questions: how to combine the steps and how accurate one should be when optimizing by (B) so that to achieve the predefined accuracy?

Key words: saddle point problem, entropy, balancing algorithm, Sinkhorn’s algorithm, universal gradient method, inexact oracle, Monge–Kantorovich problem, Wasserstein distance, Wasserstein barycenter.

УДК 519.688

*А. В. Гасников^{1,2}, Д. И. Камзолов¹, М. А. Мендель¹*¹Лаборатория структурных методов анализа данных в предсказательном моделировании (ПреМоЛаб), Московский физико-технический институт (государственный университет)²Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН

Основные конструкции над алгоритмами выпуклой оптимизации и их приложения к получению новых оценок для сильно выпуклых задач

В статье собраны вместе основные современные конструкции работы с алгоритмами (численными методами) решения задач выпуклой оптимизации. В частности, с помощью искусственного введения неточности в вычисление градиента, следуя Ю. Е. Нестерову, рассматривается «адаптивная игра на гладкости задачи», позволяющая использовать методы, настроенные на гладкие задачи для решения негладких задач; рассматривается конструкция рестартов, позволяющая получить из численного метода, ищущего решение задачи выпуклой оптимизации, метод, пригодный к использованию для задач сильно выпуклой оптимизации; рассматривается прием регуляризации, позволяющий сводить любую выпуклую задачу к сильно выпуклой. Все эти (и некоторые другие) конструкции (например, комбинированной оптимизации) описываются, исходя из одной общей линии – руководствуясь принципом «бритвы Оккама»: попытаться изложить современное состояние «оптимальных» численных методов выпуклой оптимизации в пространствах больших размеров (для детерминированных постановок: размерность пространства больше необходимого числа итераций). Статья написана по просьбам коллег и студентов, планирующих использовать собранные в статье конструкции в своей работе.

Ключевые слова: комбинированная оптимизация, быстрый градиентный метод, неточный оракул, универсальный метод Ю.Е. Нестерова, рестарт-техника, регуляризация, mini-batch.

*A. V. Gasnikov^{1,2}, D. I. Kamzolov¹, M. A. Mendel¹*¹Laboratory of Structural Methods of Data Analysis in Predictive Modeling (PreMoLab), Moscow Institute of Physics and Technology (State University)²Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute) RAS

Basic design of convex optimization algorithms and their application to obtain new estimates for strongly convex problems

The paper brings together the major modern design that works with algorithms for solving convex optimization problems. In particular, by the artificial introduction of an error in the computation of the gradient, following Yu. E. Nesterov, we consider an adaptive tuning algorithm for smoothness of the problem. This makes it possible to solve a nonsmooth problem using smooth methods. The paper discusses the restart design. It allows us to use convex numerical methods for solving strongly convex problems. The work deals with the reception of regularization. It enables us to reduce any convex problem to a strongly convex problem. We describe these and some other structures, such as composite optimization based on a common line – the principle of Occam's razor. We try to present the current state of «optimal» numerical methods for convex optimization in large spaces (for deterministic productions: the dimension of space is greater than the required number of iterations). The paper is written at the request of colleagues and students who plan to use the paper design in their work.

Key words: composite optimization, fast gradient method, inexact oracle, universal Nesterov method, restart technique, regularization, minibatch.

УДК 612.789.4

А. К. Алимуратов¹, Ю. С. Квитка¹, А. П. Зарецкий², А. П. Кулешов³

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³ФГБУ «ФНЦТИО им. акад. В. И. Шумакова» Минздрава России

Помехоустойчивая обработка речевых сигналов на основе комплементарной множественной декомпозиции на эмпирические моды

Помехоустойчивая обработка речевых сигналов является одной из основных проблем практической реализации систем распознавания речи (СРР). Предлагаемый алгоритм помехоустойчивой обработки представляет собой фильтрацию речевых сигналов с использованием методов комплементарной множественной декомпозиции на эмпирические моды (КМДЭМ) и независимого компонентного анализа (НКА). Зашумленный речевой сигнал адаптивно раскладывается на частотные составляющие – эмпирические моды (ЭМ) – с помощью метода КМДЭМ. Применение метода КМДЭМ для разложения сигналов позволяет исключить явление смешивания ЭМ, возникающее при обработке сигналов, содержащих кратковременные и несоизмеримые по масштабу участки. Из полученного набора ЭМ определяется мода, содержащая основной шум, посредством оценки весовых энергетических и шумовых коэффициентов мод. Далее исходный зашумленный речевой сигнал и ЭМ с основным шумом подвергаются обработке с помощью метода НКА. В результате выделяется отфильтрованный речевой сигнал. Применение предложенного алгоритма фильтрации способствует повышению устойчивости к шумам СРР и точности распознавания соответственно. Результаты исследований предложенного алгоритма демонстрируют эффективное подавление шума, в том числе и для малых значений отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: помехоустойчивая обработка, фильтрация речевых сигналов, распознавание речи, комплементарная множественная декомпозиция на эмпирические моды, независимый компонентный анализ.

A. K. Alimuradov¹, Y. S. Kvitka¹, A. P. Zaretskiy² A. P. Kuleshov³

¹Penza State University, Research Department 440026, Penza

²Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

³Federal State Budgetary Institute «Academician V. I. Shumakov Federal Research Center of Transplantology and Artificial Organs», Ministry of Health of the Russian Federation

Noiseproof processing of speech signals based on the complementary ensemble empirical mode decomposition

The noiseproof processing of speech signals is one of the main problems of practical implementation of speech recognition systems (SRS). The proposed algorithm of errorcorrecting processing is a filtering of speech signals using complementary ensemble empirical mode decomposition (CEEMD) and independent component analysis (ICA). A noisy speech signal is decomposed into frequency adaptive components – empirical modes (EM) using the CEEMD method. The CMDM method’s application to the signals decomposition allows us to eliminate the phenomenon of EM’s mixing that occurs during the signals processing containing short and disproportionate for scale plots. The mode (which contains general noise) is determined from the resulting set by estimating the weight of energy and noise coefficients mode. Next, the original noisy speech signal and EM with the main noise is parsing using the ICA method. The filtered speech signal is the result of this process. The application of the proposed filtering algorithm contributes to the stability to noise of the SRS and recognition accuracy, respectively. The research results of the proposed algorithm demonstrate the effective suppression of noise even for small values of the signal-noise ratio.

Key words: noise-proof processing, filtering of speech signals, speech recognition, complementary ensemble empirical mode decomposition, independent component analysis.

УДК 519.63

Д. Н. Ворошчук, В. А. Миряха, И. Б. Петров

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Исследование 3D-сейсмического отклика от вертикального геологического разлома разрывным методом Галеркина

При помощи математического моделирования исследуется сейсмический отклик от вертикального геологического разлома. Используется разрывный метод Галеркина на частично структурированных тетраэдральных сетках, реализованный для расчета пространственных процессов в гетерогенных средах. Результаты демонстрируют эффективность метода для решения прямых задач сейсморазведки.

Ключевые слова: разрывный метод Галеркина, частично структурированные тетраэдральные сетки, сейсморазведка, численное моделирование.

D. N. Voroshchuk, V. A. Miryaha, I. B. Petrov

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

3D-Seismic response investigation from a vertical crack by Discontinuous Galerkin numerical method

A seismic response from a vertical geological crack is investigated by mathematical modeling. The Discontinuous Galerkin method for a semistructured tetrahedral mesh is implemented for the calculation of space dynamic processes in heterogeneous media. The results obtained show the efficiency of this method for direct seismic problems.

Key words: DGM, semistructured tetrahedral mesh, exploration seismology, numerical modeling.

УДК 004.021

*Vu Viet Thang¹, D. V. Pantiukhin^{1,2}, A. N. Nazarov¹*¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

O-LDS: Оптимизация пространства поиска для ускорения алгоритма оценки локальной плотности (Local Density Score)

Обнаружение аномалий – это одна из самых важных задач технологии интеллектуального анализа данных (DataMining) и обнаружения знаний в базах данных. Эта задача решается во многих важных прикладных областях, таких как обнаружение атак (Intrusion Detection), обнаружения мошенничества (Fraud Detection), в том числе с кредитными картами, обнаружения аномалий в медицине (Medical Anomaly Detection), обнаружение злоупотреблений и др.

В настоящее время проводится много исследований по решению этой задачи, но большинство полученных решений имеет высокую вычислительную сложность, что затрудняет использование таких решений в задачах с большим количеством данных [1].

В данной работе предложен новый алгоритм O-LDS, который имеет значительно меньшую вычислительную сложность по сравнению с известными – алгоритмом оценки локальной плотности (Local density score, LDS) [2] и алгоритмом фактора локального отклонения (Local Outlier Factor, LOF) [3].

Для оценки производительности алгоритма O-LDS использовался набор данных CHAMELEON [4], [5], содержащий данные сложной формы в двухмерном пространстве. Алгоритм O-LDS применяется для обнаружения аномалий в задаче обнаружения атак на информационные ресурсы с использованием реальных наборов данных ADFA [6]. Практические исследования показывают, что предложенный алгоритм не только реализует точное обнаружение аномалий, но и работает быстрее до 20 раз и более, чем алгоритмы LDS, LOF.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, защита от атак, K-Means, LOF, LDS, O-LDS, набор данных ADFA.

*Vu Viet Thang¹, D. V. Pantiukhin^{1,2}, A. N. Nazarov¹*¹Moscow Institute of Physics and Technology (State University)²National Research University «Higher School of Economics»

O-LDS: Optimization of the search space to accelerate the anomaly detection based on Local Density Score

The anomaly detection is one of the most important problems in knowledge discovery from data. Its applications include intrusion detection, fraud detection, and the medical anomaly detection, and so on. Nowadays, there are a lot of methods that are tacked with this problem. However, most of them usually have an expensive cost of complexity. For example, LOF or LDS based method has the complexity of $O(n^2)$. This paper proposes an efficient method for boosting the LDS based anomaly detection. The main idea of principle is dividing and conquering: partitioning the data set first and then finding the anomaly from each piece of data. The experiment conducted from artificial and real data sets shows that the run time of our method is up to 20 times faster as compared to LOF and LDS methods.

Key words: Anomaly detection, protection against attacks, K-Means, LOF, LDS, O-LDS, dataset ADFA.

УДК 622.276

*В. П. Косяков^{1,2,3}, С. П. Родионов^{1,2,3}*¹Тюменский государственный университет²Тюменский филиал ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН³ООО «Юни-Конкорд»

Оптимальное управление системой скважин на основе уравнений двухфазной фильтрации

Предложена оригинальная вычислительная технология для решения задач управления режимами работы скважин и назначений скважин (нагнетательная/добывающая) при известном их местоположении. Технология включает в себя разработанный метод определения оптимального управления режимами работы скважин, известный метод Л. С. Понтрягина и новый алгоритм направленного перебора вариантов назначения скважин для определения наилучшего варианта. С использованием предложенной технологии определены наилучшие варианты назначения скважин в симметричных элементах различных схем их расстановки. Целевой функционал полагался равным объему извлекаемой нефти за определенный период времени. Показано преимущество нового алгоритма по сравнению с ранее известными.

Ключевые слова: скважина, управление, коэффициент извлечения нефти, назначение скважин, фильтрация, моделирование, разработка месторождений

*V. P. Kosyakov^{1,2,3}, S. P. Rodionov^{1,2,3}*¹University of Tyumen²Tyumen Branch of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Siberian branch of RAS³Uni-Concord ltd

Optimal control of wells on the basis of two-phase filtration equations

We propose an original computational technique for solving problems of mode control of wells and their assignments (injection / production wells) with known location. The technology includes the developed method for determining the optimal management regimes of wells, Pontryagin's method and a new algorithm for the directed enumeration of variants destination of wells to determine the best option. We determine the best options for the designation wells in the symmetric elements of the various schemes of placement using the proposed technology. The objective functional is assumed to volume of recoverable oil for a certain period of time. The advantage of the new algorithm over the previously known one is shown.

Key words: well, control, oil recovery factor, the purpose of wells, filtering, modeling, reservoir engineering.

УДК 004.8

Ле Мань Ха

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации

В данной работе рассмотрена свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации, ее структуру, метод обучения и преимущества перед полносвязной нейронной сетью.

Ключевые слова: нейронная сеть, глубинное обучение, свёртка, субдискретизация, классификация.

Le Manh Ha

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Convolutional neural networks for classification

In this paper, the main purpose is to consider convolutional neural networks for classification, its structure, the learning method and advantages over common neural network.

Key words: neural network, deep learning, convolution, pooling, classification.

УДК 517.95, 517.98

А. Р. Ханалыев

Российский университет дружбы народов

О коэрцитивной разрешимости нелокальных краевых задач для параболических уравнений

В произвольном банаховом пространстве E рассматривается нелокальная краевая задача

$$v'(t) + A(t)v(t) = f(t) \quad (0 \leq t \leq 1), \quad v(0) = v(\lambda) + \mu \quad (0 < \lambda \leq 1)$$

для дифференциального уравнения с (переменным) линейным сильно позитивным оператором $A(t)$, имеющим не зависящую от t , всюду плотную в E область определения $D = D(A(t))$, порождающим аналитическую полугруппу $\exp\{-sA(t)\}$ ($s \geq 0$). Устанавливается коэрцитивная разрешимость нелокальной краевой задачи в банаховом пространстве $C_0^{\beta, \gamma}(E)$ и доказывается неравенство коэрцитивности при естественных предположениях относительно оператор-функции $A(t)$. Прежде неравенство коэрцитивности в таком виде было доказано лишь для случая постоянного оператора $A(t) \equiv A$. С другой стороны, полученная оценка усиливает результаты, известные ранее для переменного оператора.

Ключевые слова: Коэрцитивная разрешимость, нелокальная краевая задача, параболическое уравнение, банахово пространство, аналитическая полугруппа.

A. R. Hanalyev

Peoples' Friendship University of Russia

On the coercive solvability of nonlocal boundary value problems for parabolic equations

In the arbitrary Banach space E , the nonlocal boundary value problem

$$v'(t) + A(t)v(t) = f(t) \quad (0 \leq t \leq 1), \quad v(0) = v(\lambda) + \mu \quad (0 < \lambda \leq 1)$$

is considered for a differential equation with a (variable) linear strongly positive operator $A(t)$, whose domain $D = D(A(t))$ is everywhere dense in E and independent of t , generating the analytical semigroup $\exp\{-sA(t)\}$ ($s \geq 0$). We establish the coercive solvability of the nonlocal boundary value problem in the Banach space $C_0^{\beta, \gamma}(E)$ and prove the coercivity estimate under some natural assumptions on the operator function $A(t)$. Earlier, the similar estimate was only known for a the constant operator $A(t) \equiv A$. On the other hand, it enhances the results obtained previously for the case of a variable operator.

Key words: Coercive solvability of nonlocal boundary value problem, parabolic equation, Banach space, analytic semigroup.

УДК 517.972

А. Акбари Фаллахи

Российский университет дружбы народов

Дифференциально-разностные уравнения второго порядка с опережением в весовых пространствах Соболева

В статье исследована корректная разрешимость задачи с начальными условиями для дифференциально-разностного уравнения второго порядка с опережающим аргументом в весовом пространстве Соболева при отсутствии ограничений на малость коэффициентов при слагаемых с отклонениями аргумента. Установлено, что для сколь угодно большого значения коэффициента при слагаемом с опережением найдутся столь малые значения величины отклонения аргумента и такие значения весового параметра пространства Соболева, что в соответствующем пространстве рассматриваемая задача корректно разрешима. Рассмотрены новые постановки задачи с начальными условиями для уравнения с опережением, при которых в начальный момент времени задаются значения m первых производных неизвестной функции при некотором натуральном m . Установлено, что при достаточно больших значениях показателя пространства Соболева такая задача имеет хотя бы одно решение.

Ключевые слова: дифференциально-разностные уравнения, задача с начальными условиями, пространства Соболева.

A. Akbari Fallahi

Peoples' Friendship University of Russia

Differential difference second order equations with advancing in the weighted Sobolev space

In the paper, the correct solvability of the problem with initial conditions for the differential difference second order equations with advancing in the weighted Sobolev space in the absence of restrictions on the smallness of the coefficients of terms with argument deviations is studied. It is proved that for an arbitrarily large value of the coefficient with advancing term there are sufficiently small values of the shift of argument and the values of the indicator in the Sobolev space such that the considered problem is well-posed in the corresponding Sobolev space. We study the new statement of the problem with initial conditions for the equation with an advancing such that the values of m of the first derivatives of unknown function for some natural m is given at the initial time. It is shown that for sufficiently large values of the indicator in the Sobolev space this problem has at least one solution.

Key words: Differential difference equations with initial value problem, Sobolev spaces.

УДК 517.9

А. А. Скубачевский, Н. И. Хохлов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Численное решение уравнений Максвелла для моделирования распространения электромагнитных волн

В статье рассмотрен метод численного решения системы уравнений Максвелла FDTD второго порядка аппроксимации. Проведен краткий обзор сделанного в этой области и возможных приложений. Показаны преимущества данного метода. Представлен вывод разностных уравнений, используемых в методе. Освещены различные граничные условия и особенности их моделирования. Для неотражающих граничных условий представлены разностные уравнения, используемые для их моделирования. Приведены примеры моделирования электромагнитных волн при различных характеристиках среды (промоделировано прохождение волны через проводник и диэлектрик) и источниках излучения, в том числе рупорной антенны, в двумерном и трехмерном случаях. Для наглядности также показано распространение волн в одномерном разрезе. В качестве источников излучения использовались гауссиан, гармонический источник и плоская волна.

Ключевые слова: уравнения Максвелла, алгоритм Йи, электромагнитные волны, ТМ-волна, PML, TFSF.

A. A. Skubachevskii, N. I. Khokhlov

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Simulation of electromagnetic waves propagation using the FDTD method

The second order of approximation numerical method for solution of Maxwell equations in nondispersive medium called FDTD (finite difference time domain) also known as the Yee algorithm, is used to create the software package for modelling of electromagnetic waves propagation in medium (with the Courant stability condition). The total field/scattered field (TFSF) source is considered in detail. Inhomogeneous medium is also included in the model and there are some examples which show how the program works with it. The various boundary conditions (periodic, reflecting and absorbing) are considered. Perfectly matched layer (PML) absorbing the boundary conditions is used in the program and the corresponding results are discussed. Various types of sources are realized in the program, the results of the waves propagation are given. The test calculations are made for harmonic sources (5 meters - the width of the 2d grid; 100x100 cells; 5GHz frequency of each source), for a horn antenna and for a plane wave propagating in conductors (grid 1 meter wide; 200x200 cells; with conductivity 0.05 siemens/meter, size of the conductor equivalent to 30 grid cells and with the conductor of one cell size and different conductivities: 0.05, 2, 10, 100 siemens/meter) and dielectric (with relative permittivity equal to 4). The program is reliable and has wide possibilities for further development.

Key words: Maxwell equations, Yee algorithm, electromagnetic waves, TM-wave, PML, TFSF.

УДК 537.86

*П. А. Головинский^{1,2}, В. А. Астапенко², Ю. А. Кротов³, А. В. Яковец²*¹Воронежский государственный технический университет²Московский физико-технический институт (государственный университет)³АО «НИИ «Полюс» им. Ф. М. Стельмаха»

Электрон графена в поле резонансной плоской электромагнитной волны

Получено аналитическое волковское решение безмассового уравнения Дирака для графена в поле импульса медленного света произвольной временной зависимости и определены условия применимости такого подхода. С помощью метода собственного времени Фока–Швингера найдена функция Грина с точным учетом влияния внешнего классического поля волны.

Ключевые слова: графен, функция Грина, дираковские фермионы, медленный свет.

*P. A. Golovinski^{1,2}, V. A. Astapenko², Y. A. Krotov³, A. V. Yakovets²*¹Physics Research Laboratory, Voronezh Technical State University²Moscow Institute of Physics and Technology (State University)³PC Research Institute «Polyus» named after M. F. Stelmakh

Electron of graphene in the field of a plane electromagnetic wave

Analytical Volkov's solution of the massless Dirac equation for graphene in the field of a slow light short pulse in the arbitrary time dependence is obtained. Following the Fock-Schwinger proper time method, the Green's function, with account taken of the influence of the external classical wave field, is derived.

Key words: graphene, Green's function, Dirac massless fermions, field of slow light short pulse.

УДК 533.27

*Г. Ю. Григорьев¹, А. В. Максимычев², Л. И. Меньшиков^{1,2,3}, П. Л. Меньшиков¹,
Ш. Ш. Набиев¹*

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

О механизмах разделения изотопов в сверхзвуковых потоках

Рассмотрены и решены две задачи, возникающие при анализе возможности разделения изотопов в сверхзвуковых струях. Предложена теория, позволяющая рассчитать инфракрасные спектры (ИК) поглощения молекул типа XF_6 в сверхзвуковых струях газаносителя Y , например, аргона. Совпадение с данными опытов с гексафторидами UF_6 и SF_6 при комнатной температуре позволяет утверждать, что применение данной теоретической схемы позволит по измеренным ИК-спектрам установить колебательную температуру гексафторидов в струе с погрешностью ~ 10 К. Дано простое объяснение тонкой гребенчатой структуры наблюдаемых ИК-спектров. Указан новый эффект – пороговая зависимость колебательного возбуждения многоатомных молекул от интенсивности лазерного излучения. Этот эффект должен учитываться при решении проблемы селективного возбуждения и изотопного обогащения в струях $\text{XF}_6 + Y$.

Ключевые слова: гексафториды урана и серы, колебательно-вращательные полосы, тонкая структура, горячие переходы, ангармонизм колебаний молекул, постоянные ангармонизма, многоатомная молекула, резонансное ИК-излучение, колебательное возбуждение, бесстолкновительная диссоциация многоатомных молекул, колебательный переход, квазиконтинуум. ключевые слова на русском языке.

*G. Yu. Grigoriev¹, A. V. Maksimychyev², L. I. Menshikov^{1,2,3}, P. L. Menshikov¹,
Sh. Sh. Nabiev¹*

¹National Research Center «Kurchatov Institute»

²Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

³Northern (Arctic) Federal University

On mechanisms of isotope separation in supersonic flows

Two problems are considered and solved which arise in the analysis of the possibility of isotope separation in supersonic jets. We propose the theory that allows calculating the infrared absorbing spectra (IR) of molecules such as XF_6 in supersonic jets of the gas carrier the Y , for example, argon. The coincidence of the theory with the experimental data for the hexafluorides UF_6 and SF_6 at room temperature suggests that the combination of this theoretical framework and with IR spectra measurements allows establishing the vibrational temperature of hexafluorides in a flow with an error ~ 10 K. A simple explanation of the observed comblike fine structure of IR spectra is given. The new effect shows the threshold dependence of the vibrational excitation of polyatomic molecules on the laser intensity. This effect should be taken into account when dealing with the problem of selective excitation and isotope enrichment in flows $\text{XF}_6 + Y$.

Key words: uranium and sulfur hexafluorides, vibrational-rotational bands, fine structure, hot transitions, anharmonism of molecular vibrations, anharmonicity constants, polyatomic molecule, resonant IR radiation, vibrational excitation, collisionless dissociation of polyatomic molecules, vibrational transition, quasicontinuum of vibrational spectrum.

УДК 532.685

А. С. Волошин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Обобщенное уравнение неравновесной пропитки матричных блоков в усредненной модели двойной пористости Кондаурова

В работе рассмотрена усредненная модель двойной пористости Кондаурова, описывающая неравновесную двухфазную фильтрацию несмешивающихся жидкостей в трещиновато-пористых средах в случае, когда неравновесность возникает только в матричных блоках. Строго математически показано, что усредненная модель может быть представлена обычными уравнениями двухфазной фильтрации несжимаемых несмешивающихся жидкостей с добавлением двух источников членов, полученных с помощью решения локальной краевой задачи для уравнения неравновесной пропитки, которое записывается в терминах насыщенности и неравновесного параметра Кондаурова. Уравнение получено для произвольных времен релаксации, что позволяет изучить предельные случаи, когда время релаксации стремится к нулю либо бесконечности. Представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: пористая среда, двойная пористость, усреднение, двухфазное течение, неравновесная модель.

A. S. Voloshin

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

General non-equilibrium matrix imbibition equation for the homogenized Kondaurov double porosity model

In this paper, we study the homogenized Kondaurov double porosity model describing a nonequilibrium two-phase immiscible flow in fractured-porous reservoirs when nonequilibrium phenomena occur in the matrix blocks only. In a mathematically rigorous way we show that the homogenized model can be presented as usual equations of a two-phase incompressible immiscible flow except for the addition of two source terms calculated by a solution to a local problem being a boundary value problem for a nonequilibrium imbibition equation given in terms of the real saturation and the Kondaurov nonequilibrium parameter. This equation obtained for arbitrary relaxation times enables us to study the limit cases when the relaxation time goes to zero or infinity. The results of the numerical simulation are also given.

Key words: porous media, double porosity, homogenization, two-phase flow, non-equilibrium model.

УДК 532.511

В. П. Ковалёв, Г. Б. Сизых

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Осесимметричные винтовые течения идеальной жидкости

Рассмотрены винтовые (завихренность не равна нулю и параллельна скорости) осесимметричные стационарные течения идеальной несжимаемой жидкости. В известных решениях Громеки коэффициент, связывающий скорость и завихренность, является константой во всем поле течения. Найдены точные решения, описывающие винтовые течения с переменным коэффициентом, связывающим скорость и завихренность.

Ключевые слова: уравнения Эйлера, идеальная несжимаемая жидкость, винтовые течения, точные решения.

V. P. Kovalev, G. B. Sizykh

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Corkscrew axisymmetric flow of an ideal fluid

We consider corkscrew (the vorticity is not zero, and is parallel to velocities) axisymmetric stationary flows of an ideal incompressible fluid. In the known solutions the Gromeka coefficient linking velocity and vorticity is constant throughout the flow field. We find exact solutions describing the corkscrew flow with a variable coefficient linking velocity and vorticity.

Key words: Euler equations, ideal incompressible fluid, corkscrew flows, exact solutions.

УДК 519.63

В. Е. Родионов, И. В. Цыбулин, А. А. Карпаев

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Численное моделирование волны внутрипластового горения при двухфазном фильтрационном течении

Рассматривается задача распространения волны внутрипластового горения в рамках модели неизотермической двухфазной фильтрации. Предложены критерии, позволяющие предсказать возможность реализации различных режимов распространения, и алгоритм расчета скорости волны. Проведено численное моделирование реагирующей двухфазной фильтрации и сравнение результатов расчетов с теоретическими оценками.

Ключевые слова: неизотермическая двухфазная фильтрация, внутрипластовое горение, численное моделирование.

V. E. Rodionov, I. V. Tsybulin, A. A. Karpaev

Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Numerical simulation of an in-situ combustion wave for two-phase flow through porous media

The problem of an in-situ combustion wave propagation is studied. The model of a non-isothermal two-phase flow through porous media is considered. The criteria allowing us to predict the feasibility of different propagation regimes and then algorithm for calculating the wave speed are proposed. Numerical simulation of reacting two-phase flow is performed. Comparison of the calculation results with the theoretical estimates is implemented.

Key words: non-isothermal two-phase flow, in-situ combustion, numerical simulation.