

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS
A.M. Prokhorov Institute of General Physics of RAS
University of Montenegro
National Research Nuclear University MEPhI
Forum of University Professors and Researches of Montenegro
Scientific Journal "Mathematica Montisnigri"
Moscow University for Humanities*

XIV International Seminar

**MATHEMATICAL MODELS & MODELING IN
LASER PLASMA PROCESSES & ADVANCED SCIENCE
TECHNOLOGIES**

Youth School-Conference

**MATHEMATICAL MODELING AND COMPUTATIONAL
EXPERIMENT IN MODERN SCIENTIFIC RESEARCH**

PROGRAM, ABSTRACTS and LECTURES

LPPM3.ru

July 4 — 9, 2016

Moscow, Russia

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
Университет Черногории
Национальный ядерный исследовательский университет «МИФИ»
Форум профессоров и исследователей Черногории
Научный журнал "Mathematica Montisnigri"
Московский гуманитарный университет*

XIV Международный семинар

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В
ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ И ПЕРЕДОВЫХ
НАУЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Молодежная школа-конференция

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ В СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

ПРОГРАММА, АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ и ЛЕКЦИЙ

LRPM3.ru

4 — 9 июля 2016

Москва, Россия

EXPANDED SCIENTIFIC COMMITTEE
РАСШИРЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ



Chairman - Prof. Dr. sc. Nat. Vladimir I. Mazhukin (Russia)

Председатель - проф., д.ф.-м.н. Владимир Иванович Мажукин (Россия)



Vice-Chairman - Prof. Dr. sc. Nat. Serge V. Garnov (Russia)

Вице-председатель - проф., д.ф.-м.н. Сергей Владимирович Гарнов (Россия)



Vice-Chairman - Prof. Dr. sc. Nat. Zarko Pavičević (Montenegro)

Вице-председатель - проф., д.ф.-м.н. Жарко Павичевич (Черногория)



Academician of RAS Prof. Dr. sc. Nat. Yuri I. Zhuravlev (Russia)

Академик РАН проф., д.ф.-м.н. Юрий Иванович Журавлев



Academician of RAS, Prof. Dr. sc. Nat. Boris N. Chetverushkin (Russia)

Академик РАН проф., д.ф.-м.н. Борис Николаевич Четверушкин



Corresponding Member of RAS, Prof. Dr. sc. Nat. Vitaly I. Konov (Russia)

Член-корреспондент РАН проф., д.ф.-м.н. Виталий Иванович Конов



Prof. Dr. sc. Nat. Boris N. Chichkov (Germany)

Проф., д.ф.-м.н. Борис Николаевич Чичков (Германия)



Prof. Dr. sc. Nat. Hranislav Milosevic (Serbia)

Проф., д.ф.-м.н. Хранислав Милошевич (Сербия)

Academician of RAS, Prof. Dr. sc. Nat., Krokhin O.N. (Russia)
Академик РАН проф., д.ф.-м.н. Олег Николаевич Крохин (Россия)

Prof., Dr. sc. Nat., Zavestovskaya I.N. (Russia)
Проф., д.ф.-м.н. Ирина Николаевна Завестовская (Россия)

Prof., Doctor of Philology, Lukov V.A. (Russia)
Проф., доктор филологических наук Валерий Андреевич Луков (Россия)

Organizing Committee

Организационный комитет

Koroleva O.N. (Russia) – Keldysh Institute of Applied Mathematics, National Research Nuclear University "Mephi"

Королева О.Н. (Россия) – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ) «МИФИ»

Zavestovskaya I.N. (Russia) – P.N. Lebedev Physical Institute, National Research Nuclear University "Mephi"

Завестовская И.Н. (Россия) – Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ) «МИФИ»

Mazhukin A.V. (Russia) – Keldysh Institute of Applied Mathematics, National Research Nuclear University "Mephi"

Мажукин А.В. (Россия) – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ) «МИФИ»

Shapranov A.V. (Russia) – Keldysh Institute of Applied Mathematics, National Research Nuclear University "Mephi"

Шапранов А.В. (Россия) – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ) «МИФИ»

Kozubskaya T.K. (Russia) – Keldysh Institute of Applied Mathematics

Козубская Т.К. (Россия) – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Gorobets A.V. (Russia) – Keldysh Institute of Applied Mathematics

Горобец А.В. (Россия) – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Lukov V.A. (Russia) – Moscow University for Humanities

Луков В.А. (Россия) – Московский гуманитарный университет

Zakharova E.V. (Russia) – Moscow University for Humanities

Захарова Е.В. (Россия) – Московский гуманитарный университет

Lukov S.V. (Russia) – Moscow University for Humanities

Луков С.В. (Россия) – Московский гуманитарный университет

XIV International Seminar "Mathematical models and modeling in laser plasma processes and advanced science technologies" in Russia, and Youth School-Conference "Mathematical modeling and computational experiment in modern scientific research" are organized and held at the initiative and with the financial support of the Russian Science Foundation (the project 15-11-30039).

XIV Международный семинар «Математические модели и моделирование в плазменных процессах лазерной & передовых научных технологий» в России, и молодежная школа-конференция «Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в современных научных исследованиях» организуются и проводятся по инициативе и при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 15-11-30039).

CONTENTS

PROGRAM.....	11
ABSTRACTS.....	31
PLENARY PRESENTATIONS (SCIENTIFIC LECTURES) ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ (НАУЧНЫЕ ЛЕКЦИИ)	
B. Chetverushkin. Kinetic models and algorithms for solution of the magnetogasdynamic problems on the modern supercomputing systems.....	32
V.I. Konov. Pulsed laser reactive etching of carbon materials.....	32
N.A. Inogamov, V.V. Zhakhovsky, V.A. Khokhlov, Yu.V. Petrov, K.P. Migdal, D.K. Ilitsky. Hydrodynamic phenomena caused by ultrashort laser pulse.....	33
V.N. Bagratashvili, B.N. Chichkov. Laser fabrication of scaffolds foe tissue engineering	34
М.П. Галанин, П.В. Глизнуцина, Д.Л. Сорокин. Математическое моделирование многомерных квазистационарных электромагнитных полей в канале электродинамического ускорителя	35
A.G. Kaptilniy, A.A. Karabutov. Thermodynamics of transport processes induced by super-short influence of strong flows of energy on matter.....	36
K.V. Khishchenko. Thermodynamic properties and boundaries of attainable states of matter in laser-plasma processes.....	37
С.Н. Андреев, Е.В. Бармина, В.Г.Калинников, А.В. Симакин, А.А.Смирнов, В.И. Стегайлов, С.И. Тютюнников, Г.А. Шафеев, И.А. Щербаков. Нелинейное тушение радиоактивности цезия – 137.....	37
Г.К. Боровин, И.С. Ильин, А.Г. Тучин. Квазипериодические орбиты в окрестности точки L_1 системы Солнце-Земля и их применение в проекте «СОДА».....	38
A.I. Aptekarev. Discrete D-dimensional electromagnetic Schrodinger operator with a completely integrable potential: radial asymptotics of the potential and scattering problem.....	39
Leonid V. Zhigilei. Large-scale atomistic simulations of material modification by short laser pulses and optically-induced surface acoustic waves.....	40
G. Maino, N. Barbier, A.L. Bondareva, C. G. Fiorotto, T.V. Levchenko, S. Mazzocato, G.I. Zmievskaya. On the porosity development in cultural heritage materials.....	41
A.A. Samokhin, S.I. Kudryashov. Laser ablation mechanisms and effects during nanosecond irradiation of absorbing condensed matter.....	42
V.I. Mazhukin. The morphology of plasma plume at nanosecond laser ablation of Al target in the air.....	43
ACADEMIC LECTURES АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЛЕКЦИИ	
G. Barbero. Ions in liquids..... Дж. Барберо. Ионы в жидкостях	44
G.A. Ummarino. The theory and application of superconductivity..... Дж. Уммарино. Теория и применения сверхпроводимости	44

Leonid V. Zhigilei. Molecular Dynamics Simulations of Laser-Materials Interactions.....	45
Oleg Vasilyev. Adaptive wavelet paradigm for multiscale modeling and simulation in fluid mechanics.....	46
Ricard Borrell. Portable and scalable solutions for CFD on modern supercomputers.....	47
Dinshaw S. Balsara. Multidimensional, Self-similar, strongly-Interacting, Consistent (MuSIC) Riemann Solvers – Applications to Divergence-Free MHD and ALE Schemes.....	48
Sergey Karabasov. Introduction to Computational Aeroacoustics.....	49
Giuseppe Maino. Models of mathematical physics and complex analysis in the study of porous materials including experimental techniques such as laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES).....	50
Zarko Pavicevic. Some application of mathematical analysis to the problems of natural science Жарко Павичевич. Некоторые приложения математического анализа к задачам естествознания	51
Ulrich Semmler. Applied research in the German Fraunhofer Gesellschaft (Fraunhofer Society) - in general and the research of cutting technology in the institute IWU in Chemnitz.....	52
A. Savel'ev. High field optical physics	52

SECTION I. LASER-PLASMA PROCESSES, LASER ACTION

СЕКЦИЯ I. ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ЛАЗЕРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

1. Laser ablation - experiment, theory statement of the problem, modeling	
1. Лазерная абляция - эксперимент, теория, постановки задач, моделирование	
С. Климентов, С. Гизар, А. Мускефтарас, Н. Федоров, А. Бильдэ. Метод характеристики механизмов абляции оптических кристаллов под действием ультра-коротких лазерных импульсов	53
М.П. Галанин, М.К. Крылов, А.П. Лотоцкий, А.С. Родин. Исследование влияния начального профиля лайнера на его движение вблизи концевой части магнитного ускорителя	54
S.A. Karpov, I.F. Potapenko, V.Yu. Bychenkov. Kinetic simulation of electron heat wave propagation in collisional laser produced plasma.....	55
I.F. Potapenko. Non equilibrium steady-state distributions for weakly collision plasmas and gases.....	56
S.M. Pimenov, M.S. Komlenok, E.V. Zavedeev, V.D. Frolov, N.R. Arutyunyan, M.L. Shupegin, A.D. Barinov, O.S. Zilova, T. Roch, H.-J. Scheibe. Laser surface texturing to control friction of diamond-like carbon films	57
Zygmunt Szymanski. Modelling of the nanosecond laser ablation with the use of Ansys Fluent	58
О.Г. Прончева. Исследование модели выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в поляризованном социуме	59
O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin. Continual and molecular dynamic approaches in determining the thermal properties of silicon.....	60
O.G. Tsar'kova. Induced “transparency” of CSCM during earthing of ablative torch at laser radiation exposure.....	61
А.В. Пенто, С.С. Алимбиев, С.М. Никифоров, Я.О. Симановский, А.Б. Бухарина,	

Р.С. Аблизен. Лазерная абляция и ионизация вуф излучением лазерной плазмы в масс-спектрометрии органических объектов без предварительной подготовки	62
Шуляпов С.А., Цымбалов И.Н., Иванов К.А., Крестовских Д.А., Волков Р.В., Быченков В.Ю., Брантов А.В., Ксенофонтов П.А., Савельев А.Б. экспериментальное и численное исследование взаимодействия релятивистски интенсивного лазерного излучения с протяженной плазмой	63
M.M. Demin, A.V. Shapranov, V.I. Mazhukin, P.V. Breslavskii. Modeling of laser evaporation of Aluminum with explicit tracking of interphase boundaries and shock waves.....	64
Мамонов Д.Н., Климентов С.М., Державин С.И., Сироткин А.А., Пивоваров П.А., Подмазов С.В. масштабирование мощности импульсных микролазеров для воспламенения топливных смесей при связывании нескольких каналов генерации	65
Лопаницына Н.Ю., Куксин А.Ю., Стариков С.В. Атомистическое моделирование абляции и образование наноструктур под действием субпикосекундных лазерных импульсов на поверхность металлов	66
П.А. Чижов, В.В. Букин, С.В. Гарнов, А.А. Ушаков, Измерение параметров лазерной плазмы методом просвечивающей интерферометрии	67
A.E. Zubko, A.A. Samokhin. Modeling of thermoacoustic and evaporation pressure signals in absorbing liquids irradiated with nanosecond laser pulses.....	68
2. MODELS OF MATHEMATICAL PHYSICS AND COMPUTATIONAL METHODS	
2. МОДЕЛИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ	
L. R. Evangelista, G. Barbero, M. Rosseto, R.S. Zola, I. Lelidis. Elastic continuum theory of the twist-bend nematic phases.....	69
G.A. Ummarino. Phenomenology of iron-pnictides superconductors explained in the framework of multiband eliashberg theory.....	70
A.L. Afendikov. Multilevel cartesian grids adaptation by means of non-uniform spline wavelets.....	71
Yu.A. Poveschenko. Algorithm of competing processes for the richardson iteration method with the Chebyshev parameters.....	71
V.F. Tiskin, M.E. Ladonkina. Godunov method: a generalization using piecewise polynomial approximations in the multidimensional case.....	72
А.О. Гусев, О.В. Щерица, О.С. Мажорова. Численный метод решения задачи о фазовом переходе в многокомпонентных растворах	73
V.T. Zhukov, O.B. Feodoritova, N.D. Novikova. Multigrid method for diffusion equations based on adaptive smoothing.....	74
Жарко Павичевич. Граничные свойства аналитических функций вдоль последовательности точек единичного диска	75
A.V.Tolokonnikov, K.A. Sveshnikov. Simulation of the dynamics of hydrogen atom in the cavity with third type boundary condition.....	76
A.V. Shilkov. Spectral momentum method in collisional-radiative modeling of plasmas.....	76
A.V. Berezin, F.N. Voronin, V.A. Gasilov, M.B. Markov, M.E. Zhukovskiy. The interference of electric and hydrodynamic effects during electron beam interaction with solid-state barrier...	77
Nguyen Trang Thi Huyen, S.I. Kudryashov, P.A. Danilov, A.A. Ionin, R.A. Khmel'nitskii, A.A. Rudenko, I.N. Saraeva, D.A. Zayarny. Surface-enhanced infrared absorption on	

diffraction micrograting in thin silver film.....	78
А.В. Колесниченко. Модификация в рамках статистики тсаллиса критериев гравитационной неустойчивости астрофизических дисков с фрактальной структурой фазового пространства	79
М. А. Галченкова, Н. В. Смоляков. Динамика электронов в поле ондулятора	80
П.А.Бахвалов, О.А. Доронина. Динамическая адаптация треугольной сетки к границе движущегося объекта, заданного с использованием метода погруженных границ, на основе алгоритма перераспределения узлов	81
И.П. Цыгвинцев. Трёхмерное моделирование в задачах разработки euv-источника на основе лазерной плазмы	81
D.S. Boykov, O.G. Olkhovskaya, V.A. Gasilov. Polymer destruction modeling under action of intensive energy deposition.....	82
М.Е. Ladonkina, O.A. Neklyudova, V.F Tishkin. Utilization of averaging method to smooth solutions in discontinuous Galerkin method.....	82
П.М.Струсинский. Компьютерная реализация кластерной модели трафика на сети	83
А.А. Chechina, N.G. Churbanova, M.A. Trapeznikova. Simulation of multilane vehicular traffic on the basis of cellular automata theory.....	84
Д.А. Кучелев. Алгебра рациональных дробей и вещественнозначные маятники	85
К.К. Inozemtseva, А.Е. Lutsky, М.В. Markov. Dynamics of gas in electron beam.....	86

SECTION 2. ADVANCED SCIENCE TECHNOLOGIES
 СЕКЦИЯ 2. ПЕРЕДОВЫЕ НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1. HETEROGENEOUS COMPUTATIONAL TECHNOLOGIES
 1. ГЕТЕРОГЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. С. Болдарев, В. А. Бахтин, М. Н. Притула, Д. А. Захаров. Программирование для высокопроизводительных вычислений: универсальность против эффективности	87
Б.И. Краснопольский, А.В. Медведев. Анализ эффективности библиотеки sparselinsol для решения больших систем линейных алгебраических уравнений	88
П. Б. Богданов, О. Ю. Сударева. Отечественных специализированных процессоров семейства «КОМДИВ».....	89
В.А. Титарев, А.В. Чикиткин, С.В. Утюжников. Параллельные технологии решения задач аэродинамики в комплексе программ FlowModellium	90
R.V. Uskov, М.Е. Zhukovskiy, М.В. Markov, S.V. Podoliako, I.A. Tarakanov. Reserching the spectrum of bremsstrahlung generated by the RIUS-5 electron accelerator	91
С.А. Суков, П.Б. Богданов, А.В. Горобец. Моделирование сжимаемых течений на неструктурированных сетках с использованием гибридных суперкомпьютеров различной архитектуры.....	92

2. PARALLEL TECHNOLOGY IN COMPUTATIONAL GAS DYNAMICS
 2. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКЕ

Ю.В.Василевский, И.В.Капырин, И.Н.Коньшин. Применение программной платформы inmost в расчетном коде GeRa для работы с распределенными сетками общего вида.....	93
С.В. Подоляко, М.Е. Жуковский, М.Б. Марков, Р.В. Усков, Е.Г. Лукьянова.	

Моделирование переноса нейтронов в сложных технических объектах на суперкомпьютерах с экстремальным параллелизмом	94
А.И. Симаков, И.Г. Лебо. Моделирование прохождения ударной волны через область с вихревыми структурами	95
Svetlana Tokareva. Parallel high-order Stochastic Finite Volume method for the uncertainty quantification in CFD problems.....	95
A.V. Berezin, Y.A. Volkov, V.A. Gasilov, M.E. Zhukovsky, A.A. Krukov, M.B. Markov, S.V. Parot'kin, A.V. Sysenko, I.A. Tarakanov. Supercomputer modeling of space radiation effect on satellites.....	96
М.М. Горбунов-Посадов. Живая публикация: современная технология представления научной работы	97
П.А. Бахвалов. метод полупрозрачных объёмов для построения вершинно-центрированных схем на гибридных сетках	98
S.V. Polyakov, Yu.N. Karamzin, T.A. Kudryashova, V.O. Podryga. Multiscale simulation of nonlinear processes in gas-metal Microsystems.....	99
А.Е. Бондарев, В.А. Галактионов. Организация и визуальный анализ параллельных решений для оптимизационных и параметрических исследований в вычислительной газовой динамике	100

3. MATHEMATICAL METHODS IN BIOLOGY 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В БИОЛОГИИ

М.Н. Устинин. Реконструкция функциональной структуры человеческого тела по данным многоканальных магнитных измерений	101
S.A. Makhortykh. Generalized spectral-analytical method for biomedical and bioinformatics data processing.....	102
В.Д. Лахно. Перенос заряда в полинуклеотидных цепочках	103
A.V. Moskalenko. Cardiophysics as a revision of biophysics of the heart.....	104
А.Н. Панкратов, Р.К. Тетуев, М.И. Пятков. спектрально-аналитический подход к исследованию повторяющихся структур в биоинформатике	105
С.Д. Рыкунов, М.Н. Устинин. Метод оценки парциальных спектров отделов головного мозга человека по данным магнитной энцефалографии	106
O.G. Tsarkova The study of the influence of microwave radiation of low intensity on live microorganisms.....	107
Nikolić Emilija, Brandamajer Tijana, Nikolić Aleksandar. Mathematical modeling application within ankylosing spondylitis patients.....	108

4. RUSSIAN SPACE 4. РУССКИЙ КОСМОС

В.Е. Золотов, Т.Е. Фахрутдинов, В.В. Алексеев, Г.К. Боровин, И.Е. Молотов. Новые возможности аппаратно-программного комплекса ADAPS	109
I.E. Molotov. Increasing of new GEO/HEO space debris discovery rate with ISON optical network.....	110
И.В. Флоринский, С.В. Филиппов. Глобальное морфометрическое моделирование Марса и Луны	111
Е.В. Страшнов, А.М. Трушин, Д.М. Логинов. Моделирование шарнирно связанных тел в	

системах виртуального окружения	112
А.В.Мальцев, П.Ю.Тимохин, Л.А.Финагин. Технология моделирования универсального виртуального полигона для робототехнических средств	113
М.В. Михайлюк, Д.А. Кононов. Управление виртуальной камерой с помощью эргономичного жестового интерфейса.....	114
И.А. Кочетов. Моделирование токового слоя в магнитосферном хвосте земли	115
О. Maslova, A. Brézard-Oudot, M.-E. Gueunier-Farret, J. Alvarez, J.-P. Kleider. Recent observations on the capacitance-temperature behavior in a-Si:H/c-Si heterojunctions for solar cells applications: modeling and experiment.....	116
M.G. Nickiforov. The investigation of solar activity cycles by analyzing of tree ring chronological scales.....	117
M.M. Krasnov, P.A. Kuchugov, M.E. Ladonkina, V.F. Tishkin. Discontinuous galerkin method on three-dimensional tetrahedral meshes. The usage of the operator programming method	118
B. Zekovich. The properties of tensor products of the irreducible modules over n-bialgebras....	119

PROGRAM

Saturday, July 2	
11.00-20.00	Registration, Check-in at Hotel
Sunday, July 3	
10.00-17.00	Registration, Check-in at Hotel
WELCOME PARTY	
Monday, July 4	
$10^{00}-10^{30}$	<p>Opening ceremony Prof. Dr. sc. Nat. V.I. Mazhukin, Chairman XIV Seminar. The goals and objectives of the Seminar <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i> <i>Photo for memory</i></p>
$10^{30}-11^{00}$	<p>Plenary Presentation B.N. Chetverushkin Kinetic models and algorithms for solution of the magnetogasdynamic problems on the modern supercomputing systems (scientific lecture) <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
$11^{00}-11^{30}$	<p>Plenary Presentation S.V. Garnov 55 years of the laser era. On the 100th anniversary of the A.M. Prokhorov (scientific lecture) <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i></p>
$11^{30}-12^{00}$	<i>Coffee break</i>
$12^{00}-12^{30}$	<p>Plenary Presentation V.I. Konov Pulsed laser reactive etching of carbon materials (scientific lecture) <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>

12 ³⁰ -13 ⁰⁰	<p>Plenary Presentation</p> <p>S.N. Andreev¹, E.V. Barmina¹, V.G. Kalinnikov², A.V. Simakin¹, A.A. Smirnov², V.I. Stegailov², S.I. Tiutiunnikov², G.A. Shafeev^{1,3}, I.A. Shcherbakov¹</p> <p>Nonlinear quenching of Cs-137 radioactivity</p> <p>¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>Joint Institute for Nuclear Research, Moscow</i> ³<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	<i>Lunch time</i>
14 ⁰⁰ -14 ³⁰	<p>Plenary Presentation</p> <p>N.A. Inogamov^{1,2}, V.V. Zhakhovsky^{1,2}, V.A. Khokhlov¹, Yu.V. Petrov^{1,3}, K.P. Migdal^{2,1}, D.K. Ilnitsky^{2,1}</p> <p>Hydrodynamic phenomena caused by ultrashort laser pulse (scientific lecture)</p> <p>¹<i>Landau Institute for Theoretical Physics of RAS</i> ²<i>Dukhov Research Institute of Automatics (VNIIA), Rosatom, Moscow</i> ³<i>Moscow Institute for Physics and Technology, Moscow</i></p>
14 ³⁰ -15 ⁰⁰	<p>Plenary Presentation</p> <p>V.N. Bagratashvili¹, B.N. Chichkov²</p> <p>Laser fabrication of scaffolds for tissue engineering (scientific lecture)</p> <p>¹<i>FNITS Crystallography and photonics RAS, Moscow</i> ²<i>Laser Zentrum, Hannover, Germany</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	<p>Plenary Presentation</p> <p>M.P. Galanin, P.V. Gliznutcina, D.L. Sorokin</p> <p>Mathematical modelling of multidimensional quasi-stationary electromagnetic fields in the channel of electrodynamic accelerator (scientific lecture)</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
15 ³⁰ -16 ⁰⁰	<p>Plenary Presentation</p> <p>A.G. Kaptilniy¹, A.A. Karabutov²</p> <p>Thermodynamics of transport processes induced by super-short influence of strong flows of energy on matter (scientific lecture)</p> <p>¹<i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow</i> ²<i>International Laser Center of Lomonosov Moscow State University</i></p>
16 ⁰⁰ -16 ³⁰	<i>Coffee break</i>

<p>16³⁰-17⁰⁰</p>	<p>Plenary Presentation K.V. Khishchenko Thermodynamic properties and boundaries of attainable states of matter in laser-plasma processes (scientific lecture) <i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow</i></p>
<p>17⁰⁰-17³⁰</p>	<p>Plenary Presentation G.K. Borovin, I.S. Ilin, A.G. Tuchin Quasi-periodic orbits in a neighborhood of the L1 point of the system Sun-Earth and their applications in the project "SODA" (scientific lecture) <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
<p>17³⁰-18⁰⁰</p>	<p>Plenary Presentation A.I. Aptekarev Discrete D-dimensional electromagnetic Schrodinger operator with a completely integrable potential: radial asymptotics of the potential and scattering problem (scientific lecture) <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
<p>18⁰⁰</p>	<p>POSTER SECTION, ROUND TABLE DISCUSSION</p>
<p>Tuesday, July 5</p>	
<p>10⁰⁰-10³⁰</p>	<p>Plenary Presentation O.N. Krokhin What is photon? (scientific lecture) <i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
<p>10³⁰-11⁰⁰</p>	<p>Plenary Presentation Leonid V. Zhigilei Large-scale atomistic simulations of material modification by short laser pulses and optically-induced surface acoustic waves <i>University of Virginia, Department of Materials Science and Engineering, USA</i></p>

11 ⁰⁰ -11 ³⁰	<p>Plenary Presentation N. Barbier¹, A.L. Bondareva², C. G. Fiorotto³, T.V. Levchenko⁴, S. Mazzocato³, G. Maino⁵, and G.I. Zmievskaya⁴</p> <p>On the porosity development in cultural heritage materials</p> <p>¹<i>Department de Physique, University of Orsay Paris Sud 11, Paris, France</i> ²<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ³<i>Physics Department, University of Padova, Italy</i> ⁴<i>VNI Geosystem Russian Federal Center, Moscow</i> ⁵<i>Italia University of Bologna, Italy</i></p>
11 ³⁰ -12 ⁰⁰	<p>Plenary Presentation I.N. Zavestovskaya</p> <p>Laser nanostructurization of the materials (scientific lecture)</p> <p><i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
12 ⁰⁰ -12 ³⁰	<i>Coffee break</i>
12 ³⁰ -13 ⁰⁰	<p>Plenary Presentation A.A. Samokhin</p> <p>Laser ablation mechanisms and effects during nanosecond irradiation of absorbing condensed matter. (scientific lecture)</p> <p><i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i></p>
13 ⁰⁰ -13 ³⁰	<p>Plenary Presentation V.I. Mazhukin</p> <p>The morphology of plasma plume at nanosecond laser ablation of Al target in the air (scientific lecture)</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
13 ³⁰ -14 ⁰⁰	<i>Lunch time</i>
SECTION 1. LASER-PLASMA PROCESSES, LASER ACTION	
1. Laser ablation - experiment, theory statement of the problem, modeling	
14 ⁰⁰ -14 ²⁰	<p>Invited Presentation S.M. Klimentov¹, S. Gizar², A. Muskeftaras², N. Fedorov³, A. Bilde²</p> <p>Characterization technique for ablation mechanisms in optical crystals exposed to ultrashort laser pulses</p> <p>¹<i>A.M.Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>Laboratoire des Solides Irradiés, Ecole Polytechnique, France</i> ³<i>CELIA, Université Bordeaux I, France</i></p>

<p>14²⁰-14⁴⁰</p>	<p>Invited Presentation M.P. Galanin¹, M.K. Krylov², A.P. Lototckii², A.S. Rodin¹ Investigation of influence of initial liner profile to liner motion near end part of magnetic accelerator ¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>Troitsk Institute for Innovation & Fusion Research, Troitsk</i></p>
<p>14⁴⁰-15⁰⁰</p>	<p>Invited Presentation S.A. Karpov^{1,2}, I.F. Potapenko^{1,2}, V.Yu. Bychenkov^{1,3} Kinetic simulation of electron heat wave propagation in collisional laser produced plasma ¹<i>All-Russia Research Institute of Automatics, Moscow</i> ²<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow</i> ³<i>P.N. Lebedev Physical Institute RAS, Moscow</i></p>
<p>15⁰⁰-15²⁰</p>	<p>Invited Presentation I.F. Potapenko Non equilibrium steady-state distributions for weakly collision plasmas and gases <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
<p>15²⁰-16⁰⁰</p>	<p style="text-align: center;"><i>Coffee break</i></p>
<p>16⁰⁰-16²⁰</p>	<p>Invited Presentation S.M. Pimenov¹, M.S. Komlenok¹, E.V. Zavedeev¹, V.D. Frolov¹, N.R. Arutyunyan¹, M.L. Shupegin², A.D. Barinov², O.S. Zilova², T. Roch³, H.-J. Scheibe³ Laser surface texturing to control friction of diamond-like carbon films ¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research University "MPEI", Moscow</i> ³<i>Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology, Dresden Germany</i></p>
<p>16²⁰-16³⁰</p>	<p>Oral Presentation Zygmunt Szymanski Modelling of the nanosecond laser ablation with the use of Ansys Fluent <i>Poland Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences</i></p>
<p>16³⁰-16⁴⁰</p>	<p>Oral Presentation O.G. Proncheva A model study of making choices by individuals during information warfare in polarized society <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> <i>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny</i></p>

16 ⁴⁰ -16 ⁵⁰	<p>Oral Presentation O.N.Koroleva^{1,2}, A.V.Mazhukin^{1,2}</p> <p>Continual and molecular dynamic approaches in determining the thermal properties of silicon</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
18 ⁰⁰	POSTER SECTION, ROUND TABLE DISCUSSION
SECTION 2. ADVANCED SCIENCE TECHNOLOGIES	
1. Heterogeneous computational technologies.	
14 ⁰⁰ -14 ²⁰	<p>Oral Presentation A.S. Boldarev, V.A. Bakhtin, M.N. Pritula, D.A. Zaharov</p> <p>Code developing for the high-performance computations: generality versus performance</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ²⁰ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation B.I. Krasnopolsky¹, A.V. Medvedev²</p> <p>Efficiency analysis of SparseLinSol library for solving large systems of linear algebraic equations</p> <p>¹<i>Institute of Mechanics, Lomonosov Moscow State University, Moscow</i> ²<i>Company "T-Services", Moscow</i></p>
14 ⁴⁰ -15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation G. Oyarzun¹, R. Borrell², A.V. Gorobets³</p> <p>Hybrid portable cfd solution for incompressible turbulent flows</p> <p>¹<i>University of Patras, Grece</i> ²<i>Barclona supercomputing center, Spain</i> ³<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ²⁰	<p>Oral Presentation P.B. Bogdanov, O.Yu. Sudareva</p> <p>General-purpose computations using Russian specialized CPUs «KOMDIV»</p> <p><i>FSC Scientific Research Institute for System Studies of RAS, Moscow</i></p>
15 ²⁰ -16 ⁰⁰	Coffee break
16 ⁰⁰ -16 ³⁰	<p>Keynote Presentation V.A. Titarev^{1,2}, A.V. Chikitkin², S.V. Utiuzhnikov^{3,2}</p> <p>Parallel computational aerodynamics methods in FlowModellium solver</p> <p>¹<i>Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS</i> ²<i>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny</i> ³<i>University of Manchester, UK, Manchester</i></p>

16^{30} - 16^{50}	<p>Oral Presentation</p> <p>R.V. Uskov, M.E. Zhukovskiy, M.B. Markov, S.V. Podoliako, I.A. Tarakanov</p> <p>Reserching the spectrum of bremsstrahlung generated by the RIUS-5 electron accelerator</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
16^{50} - 17^{10}	<p>Oral Presentation</p> <p>S.A. Sukov¹, P.B. Bogdanov², A.V. Gorobets¹</p> <p>Modeling of compressible flows on unstructured meshes using hybrid supercomputers of various architectures</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS</i></p>
18^{00}	<p>POSTER SECTION, ROUND TABLE DISCUSSION</p>
<p>Wednesday, July 6</p>	
<p>SECTION 1. LASER-PLASMA PROCESSES, LASER ACTION</p>	
<p>1. Laser ablation - experiment, theory statement of the problem, modeling</p>	
10^{00} - 10^{20}	<p>Invited Presentation</p> <p>O.G. Tsar'kova</p> <p>Induced "transparency" of CSCM during earthing of ablative torch at laser radiation exposure</p> <p><i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i></p>
10^{20} - 10^{30}	<p>Oral Presentation</p> <p>A.V. Pento¹, S.S. Alimpiev², S.M. Nikiforov², Ya.O. Simanovsky², A.B. Bukharina¹, R.S. Ablizen¹</p> <p>Laser ablation and VUV laser plasma ionization for direct MS analysis of organic containing samples</p> <p>¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow</i> ²<i>Advanced Energy Technologies, Skolkovo, Russia.</i></p>
10^{30} - 10^{40}	<p>Oral Presentation</p> <p>S.A. Shulyapov, I.N. Tsymbalov, K.A. Ivanov, D.A. Krestovskih, R.V. Volkov, V.Yu. Bychenkov, A.V. Brantov, P.A. Ksenofontov, A.B. Savel'ev</p> <p>Experimental and numerical study of relativistic laser radiation interaction with long pre-plasma</p> <p><i>Lomonosov Moscow State University, Moscow</i> <i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow</i></p>

10 ⁴⁰ -10 ⁵⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">M.M. Demin¹, A.V. Shapranov^{1,2}, V.I. Mazhukin^{1,2}, P.V. Breslavskii¹</p> <p style="text-align: center;">Modeling of laser evaporation of Aluminum with explicit tracking of interphase boundaries and shock waves</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University, MEPhI, Moscow</i></p>
10 ⁵⁰ -11 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">D.N. Mamonov¹, S.M. Klimentov¹, S.I. Derzhavin¹, A.A. Sirotkin¹, P.A. Pivovarov¹, S.V. Podmazov²</p> <p style="text-align: center;">Power scaling of fuel igniting microlasers by means of pulsed conjugated generation in multiple channels</p> <p style="text-align: center;">¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny</i></p>
11 ⁰⁰ -11 ¹⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">N.Yu. Lopanitsyna^{1,2}, A.Yu. Kuksin², S.V. Starikov²</p> <p style="text-align: center;">Atomistic simulation of ablation and formation of nanostructures under the action of subpicosecond laser pulses on the surface of metals</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow</i> ²<i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow</i></p>
11 ¹⁰ -11 ²⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">P.A. Chizhov¹, V.V. Bukin¹, S.V. Garnov¹, A.A. Ushakov^{1,2}</p> <p style="text-align: center;">Laser plasma parameters measurement by transverse interferometry method</p> <p style="text-align: center;">¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>Lomonosov Moscow State University</i></p>
11 ²⁰ -11 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">A.E. Zubko¹, A.A. Samokhin²</p> <p style="text-align: center;">Modeling of thermoacoustic and evaporation pressure signals in absorbing liquids irradiated with nanosecond laser pulses.</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow</i> ²<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i></p>
11 ³⁰ -12 ⁰⁰	<p style="text-align: center;"><i>Coffee break</i></p>

2. Models of Mathematical Physics and Computational Methods	
12 ⁰⁰ -12 ²⁰	<p>Invited Presentation</p> <p>L. R. Evangelista¹, G. Barbero^{2,3}, M. Rosseto¹, R.S. Zola⁴, I. Lelidis⁵</p> <p>Elastic continuum theory of the twist-bend nematic phases</p> <p>¹<i>Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Brazil.</i> ²<i>Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Italy.</i> ³<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i> ⁴<i>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brazil.</i> ⁵<i>Solid State Section, Department of Physics, University of Athens, Greece.</i></p>
12 ²⁰ -12 ⁴⁰	<p>Invited Presentation</p> <p>G.A. Ummarino^{1,2}</p> <p>Phenomenology of iron-pnictides superconductors explained in the framework of multiband eliashberg theory</p> <p>¹<i>Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino, Italy</i> ²<i>National Research Nuclear University, MEPhI, Moscow</i></p>
12 ⁴⁰ -13 ⁰⁰	<p>Invited Presentation</p> <p>A.L. Afendikov</p> <p>Multilevel Cartesian Grids Adaptation by Means of Non-uniform Spline Wavelets</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Lunch time
14 ⁰⁰ -14 ¹⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>V.F. Tiskin, M.E. Ladonkina</p> <p>Godunov method: a generalization using piecewise polynomial approximations in the multidimensional case</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ¹⁰ -14 ²⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>A.O. Gusev¹, O.V.Scheritsa², O.S.Mazhorova²</p> <p>Numerical method for solving the problem of phase transitions in multicomponent solutions</p> <p>¹<i>Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow</i> ²<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ²⁰ -14 ³⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>Yu.A. Poveschenko</p> <p>Algorithm of competing processes for the Richardson iteration method with the Chebyshev parameters</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>

14 ³⁰ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation V.T. Zhukov, O.B. Feodoritova, N.D. Novikova. Multigrid method for diffusion equations based on adaptive smoothing. <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ⁴⁰ -15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation Zarko Pavicevic Boundary properties of analytic functions along the sequence of a single drive point <i>University of Montenegro, Podgorica</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	<p><i>Coffee break</i></p>
15 ³⁰ -15 ⁴⁰	<p>Oral Presentation A.V.Tolokonnikov¹, K.A. Sveshnikov² Simulation of the dynamics of hydrogen atom in the cavity with third type boundary condition ¹<i>Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow</i> ²<i>N.N.Bogoliubov Institute for Theoretical Problems of Microphysics, Lomonosov Moscow State University, Moscow</i></p>
15 ⁴⁰ -15 ⁵⁰	<p>Oral Presentation A.V. Berezin, F.N. Voronin, V.A. Gasilov, M.B. Markov, M.E. Zhukovskiy The interference of electric and hydrodynamic effects during electron beam interaction with solid-state barrier <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
15 ⁵⁰ -16 ⁰⁰	<p>Oral Presentation Nguyen Trang Thi Huyen^{1,4}, S.I. Kudryashov^{1,2,3}, Pavel A. Danilov¹, Andrey A. Ionin¹, Roman A. Khmel'nitskii¹, Andrey A. Rudenko¹, Irina N. Saraeva¹, Dmitry A. Zayarny¹ Surface-enhanced infrared absorption on diffraction micrograting in thin silver film ¹<i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i> ³<i>ITMO University, St. Petersburg</i> ⁴<i>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny</i></p>
16 ⁰⁰ -16 ¹⁰	<p>Oral Presentation A.V. Shilkov Spectral momentum method in collisional-radiative modeling of plasmas <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>

$16^{10} - 16^{20}$	<p>Oral Presentation A.V. Kolesnichenko</p> <p>Modification in framework of Tsallis statistics of gravitational instability criterions of astrophysical disks with fractal structure of phase space <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
THE CULTURAL PROGRAM	
SECTION 2. ADVANCED SCIENCE TECHNOLOGIES.	
2. Parallel technology in computational gas dynamics	
$10^{20} - 10^{50}$	<p>Keynote Presentation Yu.V. Vasilevskii¹, I.V. Kapyrin^{1,2}, I.N. Konshin^{1,2}</p> <p>Development of GeRa code based on parallel INMOST software platform using distributed meshes of general kind <i>¹Institute of Numerical Mathematics of RAS ²Nuclear Safety Institute of RAS</i></p>
$10^{50} - 11^{10}$	<p>Oral Presentation S.V. Podoliako, M.E. Zhukovskii, M.B. Markov, P.V. Uskov, E.G. Lukianova</p> <p>The modeling of neutron transport in complex technical objects using the supercomputers with extra massive parallelism <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
$11^{10} - 11^{30}$	<p>Oral Presentation A.I. Simakov, I.G. Lebo</p> <p>The modeling of shock wave passing through area with the whirls <i>Moscow Technological University (MIREA)</i></p>
$11^{30} - 12^{00}$	Coffee break
$12^{00} - 12^{20}$	<p>Oral Presentation A.V. Berezin, Y.A. Volkov, V.A. Gasilov, M.E. Zhukovsky, A.A. Krukov, M.B. Markov, S.V. Parot'kin, A.V. Sysenko, I.A. Tarakanov</p> <p>Supercomputer modeling of space radiation effect on satellites <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
$12^{20} - 12^{40}$	<p>Oral Presentation Svetlana Tokareva</p> <p>Parallel high-order Stochastic Finite Volume method for the uncertainty quantification in CFD problems <i>University of Zurich, Switzerland</i></p>

12 ⁴⁰ -13 ⁰⁰	<p>Oral Presentation M.M. Gorbunov-Posadov Alive publication: the advanced technology of presentation of investigation results <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	<i>Lunch time</i>
14 ⁰⁰ -14 ²⁰	<p>Oral Presentation P.A. Bakhvalov Method of semi-transparent control volumes for constructing vertex-centered schemes on hybrid meshes <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ²⁰ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation S.V. Polyakov^{1,2}, Yu.N. Karamzin¹, T.A. Kudryashova¹, V.O. Podryga¹ Multiscale simulation of nonlinear processes in gas-metal Microsystems ¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
14 ³⁰ -14 ⁴⁵	<p>Oral Presentation A.E. Bondarev, V.A. Galaktionov Implementation and Visualization of Parallel Solutions for Optimizing and Parametric Studies in CFD <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	<i>Coffee break</i>
THE CULTURAL PROGRAM	
Thursday, July 7	
YOUTH SCHOOL-CONFERENCE	
	<p>Opening ceremony Prof. Dr. sc. Nat. V.I. Mazhukin, Chairman The goals and objectives of the Youth school-conference</p>
10 ⁰⁰ -10 ⁴⁰	<p>Academic Lecture G. Barbero Ions in liquids <i>Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Italy.</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
	Pause

10 ⁴⁵ -11 ²⁵	<p>Academic Lecture Leonid V. Zhigilei Molecular Dynamics Simulations of Laser-Materials Interactions <i>University of Virginia, Department of Materials Science and Engineering, USA</i></p>
Pause	
11 ³⁰ -12 ¹⁰	<p>Academic Lecture G.A. Ummarino The theory and application of superconductivity <i>Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino, Italy</i> <i>National Research Nuclear University, MEPhI, Moscow</i></p>
12 ¹⁰ -12 ³⁰	<i>Coffee break</i>
SECTION 2. ADVANCED SCIENCE TECHNOLOGIES.	
Mathematical methods in biology	
12 ³⁰ -12 ⁴⁵	<p>Oral Presentation M.N. Ustinin Functional structure of the human body reconstructed from multichannel magnetic measurement <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰	<p>Oral Presentation S.A. Makhortykh Generalized spectral-analytical method for biomedical and bioinformatics data processing <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	<i>Lunch time</i>
14 ⁰⁰ -14 ¹⁰	<p>Oral Presentation V.D. Lakhno Charge Transfer in the Polynucleotide Chains <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>
14 ¹⁰ -14 ²⁰	<p>Oral Presentation A.V. Moskalenko Cardiophysics as a revision of biophysics of the heart <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>

14 ²⁰ -14 ³⁰	<p>Oral Presentation A.N. Pankratov, R.K. Tetuev, M.I. Piatkov Spectral analytical approach for investigation of repeating structures in bioinformatics <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>
14 ³⁰ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation S.D. Rykunov, M.N. Ustinin Calculation of the human brain partial spectra from MEG data <i>Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Pushchino</i></p>
14 ⁴⁰ - 14 ⁵⁰	<p>Oral Presentation Tsarkova O. G. The study of the influence of microwave radiation of low intensity on live microorganisms <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i></p>
14 ⁵⁰ - 15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation Nikolić Emilija¹, Brandamajer Tijana², Nikolić Aleksandar³ Mathematical Modeling Application Within Ankylosing Spondylitis Patients ¹<i>Department of physiotherapy, Medicine Faculty, University of Montenegro</i> ²<i>Medicine Faculty, University of Montenegro</i> ³<i>Institute for physical examination Montinspekt, Podgorica, Montenegro</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	Coffee break
SECTION 1. LASER-PLASMA PROCESSES, LASER ACTION	
2. Models of Mathematical Physics and Computational Methods	
15 ³⁰ -15 ⁴⁰	<p>Oral Presentation M.A. Galchenkova¹, N.V. Smoliakov^{1,2} Dynamics of electrons in the field of the undulator ¹<i>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny</i> ²<i>NRC “Kurchatov Institute”, Moscow</i></p>
15 ⁴⁰ -15 ⁵⁰	<p>Oral Presentation P.A. Bahvalov¹, O.A. Doronina² Dynamic adaptation of the triangular mesh to the boundary of the moving object, using a predetermined method submerged boundaries based redistribution algorithm ¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny</i></p>

15 ⁵⁰ -16 ⁰⁰	<p>Oral Presentation I.P. Tsygvintsev Three-dimensional modeling in the task of developing EUV-sources based on laser plasma <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
16 ⁰⁰ -16 ¹⁰	<p>Oral Presentation D.S. Boykov^{1,2}, O.G. Olkhovskaya¹, V.A. Gasilov^{1,2} Polymer destruction modeling under action of intensive energy deposition ¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow</i></p>
16 ¹⁰ -16 ²⁰	<p>Oral Presentation M.E. Ladonkina, O.A. Neklyudova, V.F. Tishkin Utilization of averaging method to smooth solutions in discontinuous Galerkin method <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
16 ²⁰ -16 ³⁰	<p>Oral Presentation P.M. Strusinskii Computer implementation of the cluster network traffic model <i>Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI)</i></p>
16 ³⁰ -16 ⁴⁰	<p>Oral Presentation A.A. Chechina, N.G. Churbanova, M.A. Trapeznikova Simulation of multilane vehicular traffic on the basis of cellular automata theory <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
16 ⁴⁰ -16 ⁵⁰	<p>Oral Presentation D.A. Kuchelev The algebra of rational fractions and real-valued pendulums <i>Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)</i></p>
16 ⁵⁰ -17 ⁰⁰	<p>Oral Presentation K.K. Inozemtseva, A.E. Lutsky, M.B. Markov Dynamics of gas in electron beam <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
YOUTH SCHOOL-CONFERENCE	
13 ³⁰ -15 ⁰⁰	<p>Academic Lecture Oleg Vasilyev Adaptive wavelet paradigm for multiscale modeling and simulation in fluid mechanics <i>Department of Mechanical Engineering University of Colorado, Boulder, USA</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	<i>Coffee break</i>

15 ³⁰ -16 ¹⁵	<p>Academic Lecture Ricard Borrell Portable and scalable solutions for CFD on modern supercomputers <i>CTTC UPC, Barcelona, Spain</i></p>
16 ¹⁵ -17 ⁰⁰	<p>Academic Lecture Dinshaw S. Balsara Multidimensional, Self-similar, strongly-Interacting, Consistent (MuSIC) Riemann Solvers – Applications to Divergence-Free MHD and ALE Schemes (Path 1) <i>University of Notre Dame, USA</i></p>
Friday, July 8	
YOUTH SCHOOL-CONFERENCE	
10 ⁰⁰ -11 ³⁰	<p>Academic Lecture Dinshaw S. Balsara Multidimensional, Self-similar, strongly-Interacting, Consistent (MuSIC) Riemann Solvers – Applications to Divergence-Free MHD and ALE Schemes (Path 2) <i>University of Notre Dame, USA</i></p>
11 ²⁰ -11 ⁵⁰	<i>Coffee break</i>
11 ⁵⁰ -13 ²⁰	<p>Academic Lecture Sergey Karabasov Introduction to Computational Aeroacoustics <i>Queen Mary University of London, UK</i></p>
13.00-14.00	<i>Lunch time</i>
YOUTH SCHOOL-CONFERENCE	
10 ⁰⁰ -10 ⁴⁰	<p>Academic Lecture Giuseppe Maino Models of mathematical physics and complex analysis in the study of porous materials including experimental techniques such as laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) <i>Faculty of Preservation of Cultural Heritage, University of Bologna Bologna, Italy</i></p>
Pause	

10 ⁴⁵ -11 ²⁵	<p>Academic Lecture Zarko Pavicevic Some application of mathematical analysis to the problems of natural science <i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro</i></p>
Pause	
11 ²⁰ -11 ⁵⁰	<i>Coffee break</i>
11 ⁵⁰ -12 ³⁰	<p>Academic Lecture Ulrich Semmler Applied research in the German Fraunhofer Gesellschaft (Fraunhofer Society) - in general and the research of cutting technology in the institute IWU in Chemnitz <i>Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (IWU), Chemnitz, Germany Department of Cutting Technology</i></p>
Pause	
12 ³⁰ -13 ¹⁰	<p>Academic Lecture A. Savel'ev High field optical physics <i>Lomonosov Moscow State University, Moscow</i></p>
13.00-14.00	<i>Lunch time</i>
SECTION 2. ADVANCED SCIENCE TECHNOLOGIES.	
Russian space	
14 ⁰⁰ -14 ¹⁰	<p>Oral Presentation V.E. Zolotov, T.E. Fakhrudinov, V.V. Alekseev, G.K. Borovin, I.E. Molotov New features of ADAPS hardware and software complex <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ¹⁰ -14 ²⁰	<p>Oral Presentation I.E. Molotov Increasing of new GEO/HEO space debris discovery rate with ISON optical network <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>
14 ²⁰ -14 ³⁰	<p>Oral Presentation I.V. Florinsky, S.V. Filippov Global morphometric modeling of Mars and the Moon <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i></p>

14 ³⁰ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation E.V. Strashnov, A.M. Trushin, D.M. Loginov Articulated rigid body simulation in virtual environment systems <i>FSC Scientific Research Institute for System Studies of RAS, Moscow</i></p>
14 ⁴⁰ -14 ⁵⁰	<p>Oral Presentation A.V. Maltcev, P.Yu. Timohin, L.A. Finagin The technology of universal virtual polygon simulation for robotic devices <i>FSC Scientific Research Institute for System Studies of RAS, Moscow</i></p>
14 ⁵⁰ -15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation M.V. Mikhailiuk, D.A. Kononov Managing virtual camera using an ergonomic pen computing <i>FSC Scientific Research Institute for System Studies of RAS, Moscow</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	Coffee break
15 ³⁰ -15 ⁴⁰	<p>Oral Presentation M.G. Nickiforov The investigation of solar activity cycles by analyzing of tree ring chronological scales <i>Sternberg Astronomy Institute of Lomonosov Moscow State University</i></p>
15 ⁴⁰ -15 ⁵⁰	<p>Oral Presentation I.A. Kochetov Modelling of the current layer in the Earth's magnetospheric tail <i>Faculty of Department of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow</i></p>
15 ⁵⁰ -16 ⁰⁰	<p>Oral Presentation O. Maslova¹, A. Brézard-Oudot², M.-E. Gueunier-Farret², J. Alvarez², J.-P. Kleider² Recent observations on the capacitance-temperature behavior in a-Si:H/c-Si heterojunctions for solar cells applications: modeling and experiment ¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow</i> ²<i>GeePs; CNRS UMR8507; Centrale Supélec; Univ Paris-Sud; Sorbonne Universités-UPMC Univ Paris 06; France</i></p>
SUMMING. CLOSING of the XIV INTERNATIONAL SEMINAR and YOUTH SCHOOL-CONFERENCE.	
Saturday, July 9	
Departure	

ABSTRACTS

**KINETIC MODELS AND ALGORITHMS FOR SOLUTION OF THE
MAGNETOGASDYNAMIC PROBLEMS ON THE MODERN SUPERCOMPUTING
SYSTEMS**

B. Chetverushkin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Russia
e-mail: office@keldysh.ru*

The impressive progress of the kinetic schemes in the solution of gas dynamics problems and the development of effective parallel algorithms for modern high performance parallel computing systems led to the development of advanced methods for the solution of the magnetohydrodynamics problem in the important area of plasma physics. The novel feature of the method is the formulation of the complex Boltzmann-like distribution function of kinetic method with the implementation of electromagnetic interaction terms. The numerical method is based on the explicit schemes. Due to logical simplicity and its efficiency, the algorithm is easily adapted to modern high performance parallel computer systems including hybrid computing systems with graphic processors.

PULSED LASER REACTIVE ETCHING OF CARBON MATERIALS

V.I. Konov

*A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia
National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
e-mail: vik@nsc.gpi.ru*

Ablation of various carbon materials (diamond crystals, diamond-like thin films and graphite) under the action of single and multiple laser pulses was investigated. Nano and femtosecond lasers were used. Irradiation was performed in atmospheric air and vacuum.

It is found that depending on laser pulse fluence and number two different ablation regimes are realized: physical (vaporization) and chemical (etching). The first is observed in any atmosphere if laser pulse intensity is high enough to heat up to the boiling temperature graphitic material (in the case of diamond it can be induced at the irradiated sample surface by the sequence of laser pulses or by the leading part of the single pulse). The second manifests itself only in the case of oxygen containing atmosphere and can remove carbon material with rates as low as 10^{-1} - 10^{-7} nm/pulse. Application of the both ablation regimes for carbon micro and nanostructuring will be demonstrated.

HYDRODYNAMIC PHENOMENA CAUSED BY ULTRASHORT LASER PULSE

N.A. Inogamov^{1,2}, V.V. Zhakhovsky^{2,1}, V.A. Khokhlov¹, Yu.V. Petrov^{1,3}, K.P. Migdal^{2,1},
D.K. Ilnitsky^{2,1}

¹*Landau Institute for Theoretical Physics, Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 142432, Chernogolovka, Moscow region, prospect Akademika Semenova, 1A*

²*Dukhov Research Institute of Automatics (VNIIA), Rosatom, Russian Federation, 127055, Moscow, Sushchevskaya ulitsa, 22*

³*Moscow Institute for Physics and Technology, Russian Federation, 141700, Dolgoprudny, Moscow region, Institutskiy pereulok, 9*
nailinogamov@gmail.com

There are very many important applications connected with ultrashort laser pulses (ULP, durations from few fs to few ps) from nanoplasmonics, printing... to nanoparticles production and etc. Here we speak about powerful enough laser actions onto gold and silver causing melting and mechanical motions inside and around an irradiated target. But we limit ourselves by the range of moderate energies when pressures created by a pulse are of the order of or less than a bulk modulus. Thus we consider phenomena taking place in the condensed states where cohesive energies of matter are comparable with heating resulting from absorption of 0.05-1 J/cm².

First of all the methods and results concerning physics of the two-temperature (2T) states will be reported. It is well known that a ULP transfers metal into a 2T state with hot electrons. Importance of this stage is well understood. Our descriptions based on quantum mechanical simulations cover the triad of equation of state, heat conduction, and electron-ion coupling parameter [1]. Developed theory is used for 2T simulations.

The second goal is to consider the early stages lasting few picoseconds. We show that electron heat conduction is the fastest term in thermal equations after the duration of laser heating if it lasts less than one ps. Importance of heat conduction in an energy budget depends on thickness of a film target. It is important if this thickness is at least few times more than a depth of a skin layer. Then fast cooling of a skin by electron energy transport into bulk is going ahead the more slow (for gold) process of electron-ion energy exchange. There are interesting peculiarities of a 2T rarefaction wave connected mainly with dynamical significance of electron pressure at the early stages.

The third goal is to analyze dynamics of film on a substrate supporting the film [2]. We consider the 2T stage and subsequent acoustic oscillations or spallation of a film if absorbed energy overcomes the spallation threshold. We have developed a model for dielectric permittivity and use it to predict results of pump-probe measurements in the case of a film on a substrate.

Acknowledgements: Authors acknowledge support from Russian Foundation for Basic Research (grant 16-08-01181).

References :

1. Yu. Petrov et al., "Heat conductivity of copper in two-temperature state" *Appl. Phys. A*, Vol. 122, 408 (5 pages) (2016).
2. N. Inogamov et al., "Solitary Nanostructures Produced by Ultrashort Laser Pulse", *Nanoscale Research Letters*, Vol. 11, 177 (13 pages) (2016).

LASER FABRICATION OF SCAFFOLDS FOR TISSUE ENGINEERING

V.N. Bagratashvili¹, B.N. Chichkov²

¹*FNITS Crystallography and photonics RAS, Moscow*

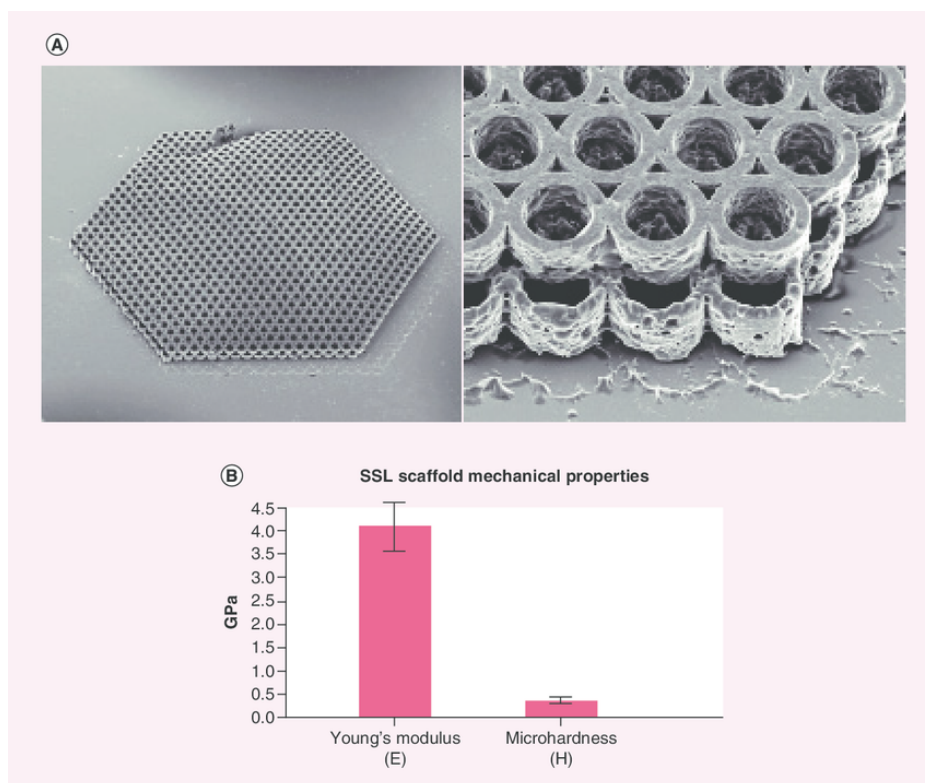
²*Laser Zentrum, Hannover, Germany*

To assess the properties of 3D biodegradable scaffolds fabricated from novel star-shaped poly(D,L-lactide) (SSL) materials for bone tissue regeneration.

Materials & methods: The SSL polymer was synthesized using an optimized synthetic procedure and applied for scaffold fabrication by the two-photon polymerization technique. The osteogenic differentiation was controlled using human adipose-derived stem cells cultured for 28 days. The SSL scaffolds with or without murine MSCs were implanted into the cranial bone of C57/Bl6 mice.

Results: The SSL scaffolds supported differentiation of human adipose-derived stem cells toward the osteogenic lineage in vitro. The SSL scaffolds with murine MSCs enhanced the mineralized tissue formation.

Conclusion: The SSL scaffolds provide a beneficial microenvironment for the osteogenic MSCs' differentiation in vitro and support de novo bone formation in vivo.



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ
КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В КАНАЛЕ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ**

М.П. Галанин, П.В. Глизнуцина, Д.Л. Сорокин

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4
galan@keldysh.ru*

Необходимость в решении задач моделирования электродинамических ускорителей возникает из потребностей науки и техники. В частности, такие устройства позволяют получать уникальные скорости макротел, превышающие скорости, даваемые обычными пороховыми ускорителями, что дает возможность создавать новые приборы и устройства для исследования поведения вещества при сверхвысоких скоростях, давлениях и т.п. Эффективная разработка таких устройств, а также исследование протекающих в них явлений, без математического моделирования невозможны.

В докладе представлены методы математического моделирования квазистационарных электромагнитных полей в неоднородных областях канала ускорителя (в том числе с изменяющимися во времени, несвязными и негладкими границами подобластей), построенные и программно реализованные вычислительные алгоритмы для моделирования процесса электромагнитного ускорения в указанных областях. Методами вычислительного эксперимента проведено исследование эрозии металлического контакта, а также качественных особенностей распределений электромагнитных полей в канале ускорителя в процессе разгона.

В частности, построена и обоснована модель электромагнитного разгона проводящих макротел на основе квазистационарного приближения системы уравнений Максвелла при наличии диэлектрических подобластей. Модель описывает явления практически однородным по подобластям с различным типом проводимости образом. Разработана модель ускорения, позволяющая вести решение задачи в короткой подвижной области, на торцах которой поставлены специальные граничные условия. Предложена схема учета особенностей как конструкции канала и якоря, так и специфических эффектов электродинамики, связанных с высокой (порядка 1 км/с) скоростью перемещения и скоростью нагрева якоря до фазовых переходов включительно. Представлен способ учета цепей внешнего энергопитания и предварительного разгона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-03073).

**THERMODYNAMICS OF TRANSPORT PROCESSES INDUCED BY SUPERSHORT
INFLUENCE OF STRONG FLOWS OF ENERGY ON MATTER**

A.G. Kaptilniy¹, A.A. Karabutov²,

¹Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Science, Moscow, Russia.

E-mail: Kalexandr48@gmail.com

²International Laser Center, Moscow State University, Moscow, Russia.

E-mail: aak@ilc.edu.ru

Here we show a short review of trends of modern development of local non-equilibrium thermodynamics of transport processes, in the time of super-short interaction of strong flows of energy with matter. Different models, which can be grouped together into the frames of Extended Non-equilibrium Thermodynamics (ENT), are mostly widespread. ENT is one of the most sequenced and elaborated thermodynamic theories which is not based on the principle of locality and the hypothesis of continuous medium. ENT considers temporal and space nonlocality of transport processes.

Far from local equilibrium, ENT users new variables: dissipative flows of heat, mass, stress tensor, etc. Transport processes are described by partial differential parabolic and hyperbolic equations. Such models based on partial differential equations represent hierarchic sequence of parabolic and hyperbolic equations whose order increases with deflection from local equilibrium.

Equation of heat conductivity of hyperbolic type includes the properties of classic equations of heat conductivity (dissipation) as well as wave equations (spreading of undamped wave). This model well explains wave properties of heat transfer processes in experiments.

Rational thermodynamics considers the phenomena of transfer in continuum on the base of untraditional approach. The purpose in rational thermodynamics is to create a strong mathematical axiomatic of main rules of thermos-mechanics of continuum in order to cover the widest possible class of models.

Rational thermodynamics does not divide thermodynamics on equilibrium and nonequilibrium ones. Both branches of science are considered as one part of science of continuum. Time initially in an explicit form enters into the equation of rational thermodynamics.

References:

1. Sergei L. Sobolev, "Local non-equilibrium transport models" *Physics Uspekhi* (1997), 40(10):1043 <http://dx.doi.org/10.1070/PU1997v040n10ABEH000292>

THERMODYNAMIC PROPERTIES AND BOUNDARIES OF ATTAINABLE STATES OF MATTER IN LASER-PLASMA PROCESSES

Khishchenko K.V.

*Joint Institute for High Temperatures RAS, Izhorskaya 13 Bldg 2, Moscow 125412, Russia
konst@ihed.ras.ru*

Development of powerful laser technology expands possibilities of generation of states of matter at extremely high temperatures and pressures. In this work, an analysis of contemporary investigations of different materials under intense pulsed laser action is carried out. Effects of phase transformations of matter in shock waves of compression and release as well as waves of isentropic compression and expansion are considered. Special emphasis is placed on determining of boundaries of attainability of thermodynamic equilibrium of different phases (solid, liquid, gaseous) under adiabatic conditions. Examples of calculated thermodynamic parameters of metals over a wide range of temperatures and densities are given. A comparison with available data from experiments on laser-pulse action with various durations upon matter is made.

НЕЛИНЕЙНОЕ ТУШЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ ЦЕЗИЯ – 137

С.Н. Андреев¹, Е.В. Бармина¹, В.Г.Калинников², А.В. Симакин¹, А.А.Смирнов², В.И. Стегайлов², С.И. Тютюнников², Г.А. Шафеев^{1,3}, И.А. Щербаков¹

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, Российская федерация*

²*Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна, Московская область, Российская федерация*

³*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Москва, Российская федерация*

Экспериментально исследован новый эффект – тушение радиоактивности цезия-137. Эффект состоит в монотонном уменьшении радиоактивности водного раствора соли этого нуклида (энергия гамма-кванта – 662 кэВ) при облучении импульсным лазерным излучением наночастиц золота, находящихся в растворе. Результаты обсуждаются с точки зрения усиления лазерного поля на наночастицах и взаимодействия его с плазмой пробоя жидкости.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ L_1 СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЕКТЕ «СОДА»

Г.К. Боровин¹, И.С. Ильин², А.Г. Тучин²

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН Москва, Россия
Email: borovin@keldysh.ru, web page: [http://keldysh.ru/Dir board/directors-fr.html](http://keldysh.ru/Dir%20board/directors-fr.html)*

*²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН Москва, Россия
Email: is.ilin@physics.msu.ru Web page: <http://www.kiaml.rssi.ru/~ivan/>*

Ключевые слова: квазипериодические орбиты, коллинеарные точки либрации, L_1 , астероидная опасность, СОДА.

Российский проект «СОДА» – Система обнаружения дневных астероидов – предполагает создание космической обсерватории, позволяющей детектировать опасные сближения комет и астероидов с Землёй. Использование квазипериодической орбиты в окрестности точки L_1 , удалённой от Земли на расстояние около 1,5 млн. км, для размещения космической обсерватории позволяет ориентировать телескоп в направлении Солнце-Земля, что даёт возможность непрерывно наблюдать астероиды, приближающиеся к Земле со стороны Солнца.

В работе рассмотрена методика баллистического проектирования квазипериодических орбит в окрестности точки либрации L_1 системы Солнце-Земля, а также построение одноимпульсных траекторий перелёта на данные орбиты с низкой околоземной орбиты. Данный метод позволяет формировать в окрестности либрационной точки квазипериодические орбиты заданной геометрии, требующие минимальных энергетических затрат на коррекции поддержания орбиты. Построение траекторий было выполнено в рамках используемой в Баллистическом центре ИПМ численно-эфемеридной модели Солнечной системы. Описанная методика была использована для построения рабочих орбит КА «Спектр-РГ» и «Миллиметрон» в окрестности либрационной точки L_2 системы Солнце-Земля.

**DISCRETE D-DIMENSIONAL ELECTROMAGNETIC SCHRODINGER
OPERATOR WITH A COMPLETELY INTEGRABLE POTENTIAL: RADIAL
ASYMPTOTICS OF THE POTENTIAL AND SCATTERING PROBLEM**

Alexander I. Aptekarev

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow, Russia

We consider a multidimensional generalization of the spectral theory of the finite difference operators. The class of operators with completely integrable coefficients (potentials) plays important role in our considerations. The discrete integrable system on the D -dimensional lattice is defined by a discrete zero curvature condition (that is some sort of generalization of the Lax commutation relations for the integrable systems). In other words, the potential of our difference operator itself is a solution of the special nonlinear finite-difference boundary value problem (BVP) on the D -dimensional lattice and this BVP is characterized by the fact that its solution at any node of the lattice does not depend on the multidimensional path, starting from the boundary data, by which it is obtained.

In the series of papers [1], [2], [3] a general approach to multidimensional difference operators with discrete integrable potentials related to the Hermite-Pade (H-P) rational approximants was developed. These approximants were introduced by Hermite in connection to his outstanding proof of the transcendence of the number e . These days this theory is known to play an important role in various fields ranging from number theory to random matrix theory. The polynomials denominators (and numerators) of this rational approximants depends on D -dimensional multi-index and there are recurrence relations which connect them to their nearest neighbors. To be consistent these recurrences have to have the coefficients which satisfy the discrete zero curvature condition. In other words the coefficients of the multidimensional recurrence relations are solutions of the special discrete integrable system.

In our talk the electromagnetic Schrodinger operator in the discrete Hilbert space l_2 on the D -dimensional lattice with non-negative coordinate will be considered. The potential satisfies a discrete integrable system related to H-P approximants and the restriction of the potential on the 1-dimensional boundary edges of the lattice generates D versions of 1-dimensional second order difference operator with nonintersecting continuous spectra. The problem on limits of the potential along the rays in the lattice will be discussed. A statement and solution of the scattering problem is considered as well. These results are obtained jointly with S. A. Denisov and M. L. Yattselev and announced in [4].

References:

1. Aptekarev, M. Derevyagin, W. van Assche, "Discrete integrable systems generated by Hermite-Padé approximants", *Nonlinearity*, 29 168-191 (2016), (arXiv: 1409.4053).
2. I. Aptekarev, M. Derevyagin, W. van Assche, "On 2D discrete Schrodinger operators associated with multiple orthogonal polynomials", *J. Phys. A: Math. Theor.*, 48, 065201 (16pp) (2015), (arXiv: 1410.1332).
3. I. Aptekarev, M. Derevyagin, H. Miki, W. van Assche, "Multidimensional Toda lattices: continuous and discrete time", submitted to *SIGMA*, (arXiv: 1511.08098).
4. I. Aptekarev, S. A. Denisov, M. L. Yattselev, "Completely integrable on \mathbf{Z}_d^+ potentials for electromagnetic Schrodinger operator: rays asymptotics and scattering problem", *Keldysh Institute Preprints*, 88, (20pp), (2015) (<http://mi.mathnet.ru/eng/ipmp/y2015/p88>).

**LARGE-SCALE ATOMISTIC SIMULATIONS OF MATERIAL MODIFICATION
BY SHORT LASER PULSES AND
OPTICALLY-INDUCED SURFACE ACOUSTIC WAVES**

Leonid V. Zhigilei¹, Chengping Wu¹, Maxim V. Shugaev¹ and Vladimir Yu. Zaitsev^{1,2}

¹University of Virginia, Department of Materials Science and Engineering
395 McCormick Road, Charlottesville, VA 22904-4745

²Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences,
Uljanova St. 46, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

E-mails: lz2n@virginia.edu (Leonid V. Zhigilei); cw5xj@virginia.edu (Chengping Wu);
mvs9t@virginia.edu (Maxim V. Shugaev); vyuzai@hydro.appl.sci-nnov.ru (Vladimir Yu. Zaitsev)

Web: <http://faculty.virginia.edu/CompMat/>

Short pulse laser irradiation can trigger a cascade of structural and phase transformations in the region of direct laser energy deposition and can also generate strong acoustic pulses (bulk and surface waves) capable of affecting key processes responsible for material modification at a substantial distance from the absorption region. Large-scale atomistic simulations are used in this work to investigate both the direct femtosecond laser material modification and the acoustically-induced surface processes. In the case of the direct laser modification of metal targets, the processes responsible for the formation of a sub-surface porous region covered by a nanocrystalline surface layer with random crystallographic orientation of nanograins and a high density of stacking faults, twins, and nanoscale twinned structural elements with five-fold symmetry will be discussed and related to the experimental observation of surface swelling and incubation effect in multi-pulse laser ablation [1,2]. For the acoustic activation of surface processes, the conditions leading to the maximum enhancement of surface diffusion are analyzed and explained by nonlinear wave profile sharpening leading to efficient generation of high-frequency harmonics that directly couple to the vibrational modes of surface species [3]. The implications of the computational predictions for the design of new techniques where the acoustic energy serves as an effective substitution for thermal activation of surface processes are discussed.

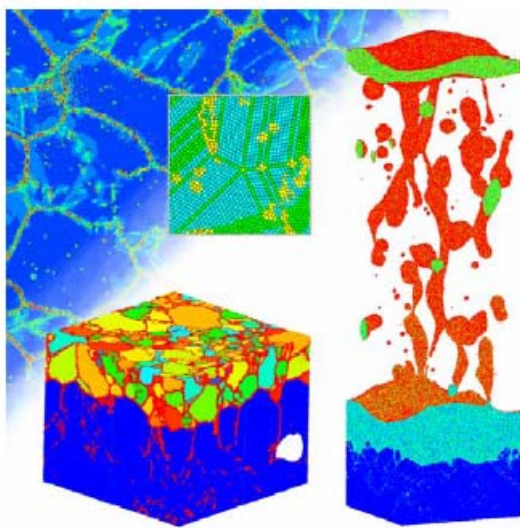


Figure 1. Illustration of some of the results of atomistic modeling of structural modification of Ag targets irradiated by 200 fs laser pulses. The simulations predict the generation of sub-surface voids and nanocrystalline surface layer and explain the experimental observation of surface swelling at laser fluences close to the ablation threshold.

References :

1. C. Wu, M. S. Christensen, J.-M. Savolainen, P. Balling, L. V. Zhigilei, *Phys. Rev. B* **91**, 035413, 2015.
2. <http://www.faculty.virginia.edu/CompMat/laser-surface-nanostructuring/>
3. M. V. Shugaev, A. J. Manzo, C. Wu, V. Yu. Zaitsev, H. Helvajian, L. V. Zhigilei, *Phys. Rev. B* **91**, 235450, 2015.

ON THE POROSITY DEVELOPMENT IN CULTURAL HERITAGE MATERIALS

N. Barbier¹, A.L. Bondareva², C. G. Fiorotto³, T.V. Levchenko⁴, S. Mazzocato³, **G. Maino^{5*}**, and G.I. Zmievskaya⁴

¹ *Department de Physique, University of Orsay Paris Sud 11, Paris, France*

² *Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia*

³ *Physics Department, University of Padova, via Marzolo 8, Padova, Italy*

⁴ *VNI Geosystem Russian Federal Center, Moscow, Russia*

⁵ *University of Bologna, Ravenna campus, via degli Ariani 1, 48100 Ravenna, Italy;*

* corresponding author, e-mail giuseppe.maino@citiesofmemory.com

Sandstone is a really diffuse building material since the antiquity in the Mediterranean area. This rock presents a set of morphological and mechanical properties, such as its color (yellow-orange), high ductility and high porosity, that make it a good material for the realization of many buildings. From a physical point of view, sandstone can be considered as a porous medium composed of calcium cement and various crystalline minerals, mainly quartz crystals. In general, a porous medium is defined as a multiphase system with a solid and a gaseous phase. Such a structure allows interactions at the interface between the system and the environment as well as the diffusion of external elements – such as pollutants – inside the pores.

The sandstone is particularly vulnerable to the urban atmosphere exposure: atmospheric gases and weather can induce erosion and detachment of pieces of larger or smaller size of the stone and the formation of a homogeneous layer of black crusts on the facades. By its porous nature, sandstone has a complex structure consisting in a systems of several different sized pores interconnected and a full description of this system involves an approach at different scales. Furthermore, the considered material is not isolate, but it represents an open system in constant interaction with the environment.

This work examines different ways, both experimental than theoretical, at different time and space scales: the experimental procedure allows to get a global view of the degradation of the historical buildings, while the theoretical study leads to models that can be used for simulations of cultural heritage degradation.

Keywords: porous material, sandstone, cultural heritage, pollution, black crust, Degradation.

**LASER ABLATION MECHANISMS AND EFFECTS DURING NANOSECOND
IRRADIATION OF ABSORBING CONDENSED MATTER**

A.A. Samokhin¹, S.I. Kudryashov^{2,3,4}

¹ *Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Russia, 119991, Moscow, Vavilov Str., 38. email: asam40@mail.ru*

² *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, 119991, Moscow, 53 Leninskiy Prospekt. email: sikudr@sci.lebedev.ru*

³ *National Research Nuclear University MEPhI, Russia, 115409, Moscow, Kashirskoe highway, 31.*
⁴ *ITMO University, Russia, 197101, St. Petersburg, 49 Kronverksky pr.*

Keywords: nanosecond laser ablation, non-equilibrium processes, phased transitions, explosive boiling, spinodal decomposition, near-critical region.

Nanosecond laser ablation of absorbing condensed matters involves various non-equilibrium phenomena arising in phase transitions, in vapor flow and in other processes. Problems in monitoring and description of these processes and some unresolved related questions are discussed in the present review of recent and earlier theoretical and experimental investigations.

THE MORPHOLOGY OF PLASMA PLUME AT NANOSECOND LASER ABLATION OF AL TARGET IN THE AIR

V.I. Mazhukin

Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow

The processes initiated by pulsed laser radiation on highly absorbing condensed media, united under the common name of pulsed laser ablation is used in a number of diagnostic and process applications. Modeling of processes of pulse ablation involves into the consideration of the laser target heating, heterogeneous phase transitions of the first kind (melting, evaporation), ionization of the vaporized material and ambient gas in the field of laser radiation, the space-time transport of mass, momentum and energy (the heat, radiation of the plasma) [1]. The mathematical description of the processes in the target is carried out in the approximation of 1-D unsteady hydrodynamic multi-front Stefan problem. In the gaseous medium processes are described in the framework of the 1-D radiative gas dynamic model. Using in simulation the dynamic adaptation method [2,3] allowed to explicitly allocate and monitor the dynamics of phase and contact boundaries and fronts of shock waves, to establish the role of phase transitions, laser plasma, thermal and contact interaction of the plasma plume with the evaporating surface of the target. Detailed modeling has allowed to introduce the structure of a laser-plasma torch in which were highlighted the periods of heterogeneous evaporation and condensation of evaporated substance on the target surface during the laser pulse, as well as the appearance and evolution of the 2-contact boundaries and 3 shock waves.

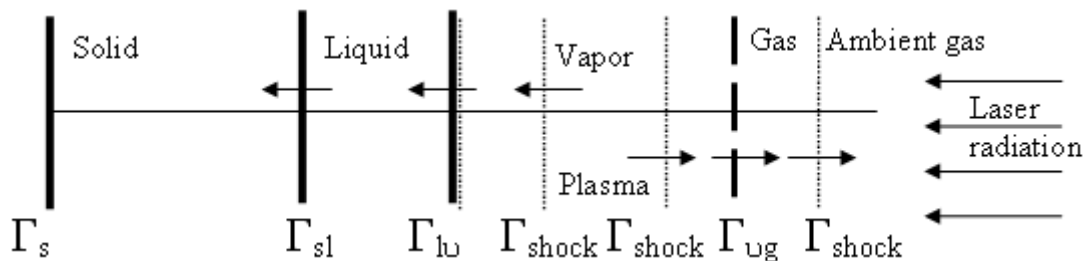


Fig. 1. Scheme of the spatial position and direction of movement of the fronts of shock waves, of contact and interphase boundaries.

This work was supported by RSF (project № 15-11-30039).

References:

1. V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, M. G. Lobok, "Comparison of Nano- and Femtosecond Laser Ablation of Aluminium", *Laser Physics*, vol. 19, № 5, pp. 1169 - 1178 (2009).
2. P.V Breslavskiy, V.I Mazhukin, "Dynamically adapted grids for interacting discontinuous solutions", *Zhurnal Vychislitel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*, 47 (4), 717-737 (2007).
3. V.I. Mazhukin, M.M. Demin, A.V. Shapranov, I. Smurov, "The method of construction dynamically adapting grids for problems of unstable laminar combustion", *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, vol.44, № 4, pp. 387 - 415 (2003).

ИОНЫ В ЖИДКОСТЯХ

Джованни Барберо

*Политехнический университет Турина
Турин, Италия.*



Целью курса лекций профессора Политехнического университета Турина (Италия) Джованни Барберо является описание отклика жидкости, содержащей ионы, на внешнее электрическое поле. На основе простых феноменологических моделей будут обсуждаться случаи блокирующих и неблокирующих электродов. Особое внимание будет уделено эволюции системы к равновесным состояниям. Лекции начинаются с рассмотрения ситуации, относящейся к статическому случаю, когда содержащая ионы жидкость подвергается действию внешних

электрических полей малой или большой амплитуды. Будет введено понятие длины экранирования и проанализирована ее зависимость от внешнего поля. Будет рассмотрен случай зависящего от времени внешнего поля и введены фундаментальные уравнения модели Пуассона-Нернста-Планка. Первая часть курса лекций заканчивается обсуждением поглощения ионов на электродах в рамках простого приближения Ленгмюра.

ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Джованни Уммарино

*Политехнический университет Турина
Турин, Италия*



Курс лекций профессора Политехнического университета Турина Джованни Уммарино (Италия) «Теория и применения сверхпроводимости» делится на три части. Первая, наиболее обширная часть посвящена классической макроскопической теории сверхпроводимости и БКШ (микроскопической) теории. Вторая часть посвящена теории Элиашберга и ее результатам, в том числе тем, которые демонстрируют трудности теории. Третья наиболее короткая часть посвящена краткому обзору применений сверхпроводимости.

MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS OF LASER-MATERIALS INTERACTIONS

Leonid V. Zhigilei

Department of Materials Science & Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA USA
E-mail: lz2n@virginia.edu, Web: <http://www.faculty.virginia.edu/CompMat/>



Atomistic and coarse grained molecular dynamics (MD) simulations of laser-materials interactions are playing an increasingly important role in investigation of complex and highly non-equilibrium processes involved in short pulse laser processing and surface modification. This role is defined by the ability of MD simulations to reveal the microscopic mechanisms of structural and phase transformations induced by the laser excitation and, at the same time, to provide clear visual representations, or “atomic movies”, of laser-induced dynamic processes. In this presentation, the atomistic and coarse-grained (mesoscopic) computational methods developed for simulation of laser-materials interactions will be briefly reviewed and the capabilities and limitations of these

methods will be discussed. The introduction to the computational methods will be followed by several examples of atomistic simulations of laser melting, generation of crystal defects and nanoscale surface morphology, photomechanical spallation, explosive boiling and molecular entrainment in laser ablation.

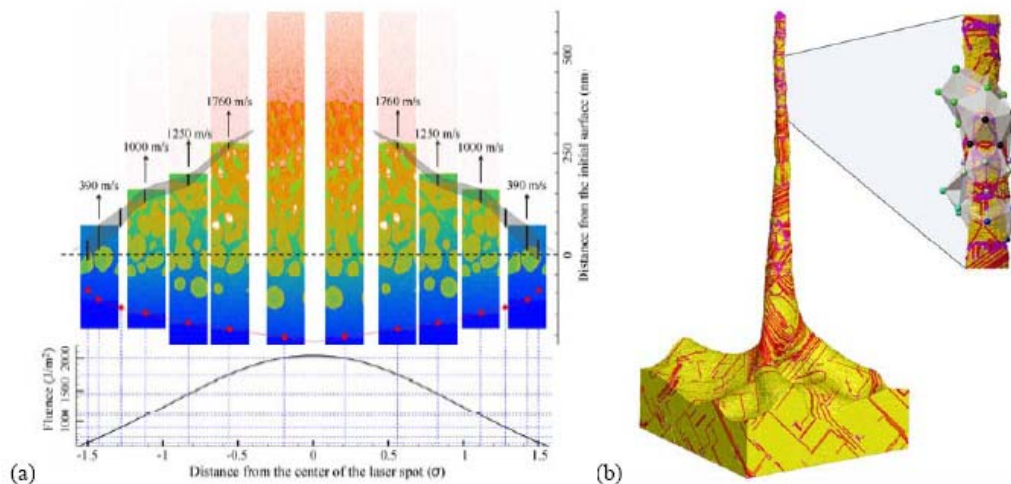


Figure 1. The results of large-scale MD simulations of Al (a) and Ag (b) targets irradiated by 100 fs laser pulses. In (a) the representation of the laser-induced processes at the scale of the whole laser spot is based on a “mosaic approach”, where snapshots from individual MD simulations taken at the same time of 150 ps after the laser pulse are aligned with locations within the laser spot that correspond to the values of local fluence used in the simulations. In (b), the surface morphology of a bulk Ag target irradiated at an absorbed fluence of 900 J/m² is shown after complete resolidification of the surface region. The enlarged view of a local region of the frozen nanospike indicates that this region can be represented by six interpenetrating icosahedra truncated by the free surface of the nanospike. The images in (a) and (b) are from Refs. [1] and [2], respectively.

The discussion of the results will be connected to the basic concepts of thermodynamics and kinetics of materials and will be aimed at providing a clear physical picture of the structural and phase transformations triggered by the rapid laser energy deposition. The results of the simulations will be related to experimental observations. The implications of the computational predictions for practical applications, as well as for the theoretical description and continuum-level modeling of the laser-induced processes will be discussed.

References :

1. C. Wu and L. V. Zhigilei, *Appl. Phys. A* **114**, 11-32, (2014).
2. C. Wu and L. V. Zhigilei, *J. Phys. Chem. C* **120**, 4438-4447, (2016).

ADAPTIVE WAVELET PARADIGM FOR MULTISCALE MODELING AND SIMULATION IN FLUID MECHANICS

Oleg Vasilyev

*Department of Mechanical Engineering
University of Colorado, Boulder, USA*



Wavelet methods in Computational Fluid Dynamics is a relatively young area of research. Despite their short decade-long existence, a substantial number of wavelet techniques have been developed for numerical simulations of compressible and incompressible Euler and Navier-Stokes equations for both inert and reactive flows. What distinguishes wavelet methods from traditional approaches is their ability to unambiguously identify and isolate localized dynamically dominant flow structures such as shocks, flame fronts or vortices and to track these structures on adaptive computational meshes. In addition, wavelet multiresolution analysis offers a novel paradigm for modeling and simulation of turbulent flows, namely the tight integration of the numerics and physics-based modeling that enables the development of a unified hierarchy of turbulence models of different fidelity. The centerpiece of these models are the energetic coherent structures that capture the dynamics of the flow across the full spectral range. The integration of turbulence modeling with adaptive wavelet methods results in a hierarchical approach, where all or most energetic parts of coherent eddies are dynamically resolved on self-adaptive computational grids, while modeling the effect of the unresolved incoherent or less energetic modes. This talk will consist of three parts. The first part will provide a general overview of wavelet methods for solution of partial differential equations. The second part will focus on different numerical wavelet-based approaches for solving the Navier-Stokes and Euler equations in adaptive wavelet bases as well as provide the background how to use wavelet-based methods for flows in complex geometries. In the last part of the talk the state-of-the-art adaptive multiresolution wavelet methodologies for modeling and simulation of turbulent flows will be discussed.

PORTABLE AND SCALABLE SOLUTIONS FOR CFD ON MODERN SUPERCOMPUTERS

Ricard Borrell

CTTC UPC, Barcelona, Spain



The High Performance Computing (HPC) community is focused on achieving Exascale computing power (10^{18} floating point operations per second) in the following years. This is an ambition driven by the direct application of the Moore's Law, which predicts the doubling of computing power roughly every two years. There are some controversies about the healthiness of the Moore's Law, that is indeed not a Law but a fulfilling prophecy that has driven the HPC development for decades (one look at www.top500.org proves it). Some critical challenges are emerging in the path to Exascale, the memory bandwidth is not keeping the pace with processing power and the energy consumption has become a key bottleneck. Those challenges

require innovative solutions to hardware design and programming models. In this context, the portability of application codes across different architectures and programming models is imperative. In this talk, we analyze all those new technology trends and its relevance from the perspective of a Computational Fluids Dynamics (CFD) application code like the one we develop in the Heat and Mass Transfer Technological Center of the Technical University of Catalonia. We also expose our approach to attain the portability requirements and its application to different computing models.

**MULTIDIMENSIONAL, SELF-SIMILAR, STRONGLY-INTERACTING,
CONSISTENT (MUSIC) RIEMANN SOLVERS – APPLICATIONS TO
DIVERGENCE-FREE MHD AND ALE SCHEMES**

Dinshaw S. Balsara

University of Notre Dame, USA

e-mail: dbalsara@nd.edu

<http://www.nd.edu/~dbalsara/Numerical-PDE-Course>



Large-scale, multidimensional flow simulations are now commonplace and there is a considerable interest in very accurate algorithms for such simulations. Introducing true multidimensionality in such algorithms is very valuable for a complete representation of the physics of the problem. Reconstruction strategies for hyperbolic PDEs (WENO, DG, PNPM, MOOD) are already fully multidimensional as are methods for their temporal update (RK, ADER). The majority of Riemann solvers are still one-dimensional. The present talk describes the design of multidimensional Riemann solvers and their applicability to higher order schemes.

Such multidimensional Riemann solvers act at the vertices of the mesh, where the multidimensional flow structure becomes visible to the Riemann solver. Instead of two input states, the input states consist of states from all the zones that meet at that vertex. At any zone interface that separates two states, a one dimensional Riemann problem emanates, as always. However, at any vertex, all the adjacent one-dimensional Riemann problems interact to form a strongly interacting state. The strongly interacting state evolves self-similarly in spacetime. By evolving the structure of the strongly interacting state in a set of self-similar variables we show that the structure of the strongly interacting state can be elucidated. Self-similarity is crucially important in the development of multidimensional Riemann solvers (Balsara (2010, 2012, 2014, 2015), Balsara, Dumbser & Abgrall (2014), Balsara & Dumbser (2015), Balsara et al. (2015)). This has prompted the name of MuSIC Riemann solvers, where MuSIC stands for “Multidimensional, Self-similar, strongly-Interacting, Consistent”. For a video introduction to multidimensional Riemann solvers see:

<http://www.nd.edu/~dbalsara/Numerical-PDE-Course>.

Numerical MHD has come into its own in the last several years. MHD forms an involution-constrained system where the magnetic field, once divergence-free, remains so forever. As a result, one has to find a strategy to represent the magnetic field in divergencefree fashion. Keeping the magnetic field divergence-free requires solving the problem on a Yee-type mesh. This necessarily requires identifying the multidimensionally upwinded electric field at the edges of a computational mesh. I proceed to show that recent advances in designing multidimensional Riemann solvers give a unique, multidimensionally-upwinded representation of the electric field.

The benefits of the multidimensional Riemann solver go beyond numerical MHD and apply to any hyperbolic system. I show that the multidimensional Riemann solver gives more isotropic flow on resolution-starved meshes. The permitted CFL number is also increased. Even more importantly, the multidimensional Riemann solver gives us a physically-motivated node solver for any ALE application involving any manner of hyperbolic system. The talk

ends with presentation of hydrodynamical and magnetohydrodynamical ALE results at all orders.

INTRODUCTION TO COMPUTATIONAL AEROACOUSTICS

Sergey Karabasov

Queen Mary University of London, UK



Aeroacoustics is a relatively new area of research which studies sound generated by aerodynamic flows, e.g. noise generated by a jet engine, helicopter rotor noise, or wind turbine noise. For propulsive noise, as the number of aircraft continues to increase its impact on the environment has become very severe and noise reduction now is a serious issue which needs to be dealt with on par with aerodynamic performance and structural integrity. From the modelling viewpoint, aeroacoustic problems typically involve a great range of scales: acoustic wavelength in the audible range of hearing is several orders of magnitude larger than that of the aerodynamic fluctuations which generate sound. Besides, noise typically is a tiny by-product of aerodynamic flows and its amplitude is so small that it is measured at the log scale, similarly to how the human hearing works. All these makes Computational Aeroacoustics which aims to model the aerodynamic flows and sound at the same time an extremely challenging field. In this lecture, we will consider typical techniques used in aeroacoustic modelling – from statistical modelling based approaches to the techniques which use space and time resolved computational fluid dynamics methods. We will look at some examples how aeroacoustic modelling can be quite controversial at times and what are the limitations of some existing theories and numerics.

MODELS OF MATHEMATICAL PHYSICS AND COMPLEX ANALYSIS IN THE STUDY OF POROUS MATERIALS INCLUDING EXPERIMENTAL TECHNIQUES SUCH AS LASER ABLATION INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETRY (LA-ICP-MS) AND INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ATOMIC EMISSION SPECTROSCOPY (ICP-AES)

Giuseppe Maino

*Faculty of Preservation of Cultural Heritage, University of Bologna
Bologna, Italy*



Atomic and nuclear techniques are mainly used in archaeology and history of art for dating and determining the composition and modifications of materials used in the production of artifacts of particular interest. A close relationship exists between non-destructive multispectral techniques, digital imagery and digital picture processing; in particular, the digital image processing is shown to naturally complete traditional analysis techniques for non-destructive diagnostics of paintings such as radiography and reflectography in identifying the archaeological or artistic objects and the materials from which they are made, their state of repair, technical construction and decoration as well

as datation. In particular, physical methods are often used assess fakes or late copies from a lost original. Therefore, fundamental and applied physics, and namely condensed- matter and nuclear physics together, can make noteworthy contributions to conservation education and research, in order to:

- Assess stronger foundations for the scientific approach to conservation;
- define a framework for a possible scientific theory for conserve on;
- understand and measure many natural phenomena and conservation induced effects;
- apply the existing physical techniques in the humanities field and develop new physical methods and instruments specifically for conservation;
- improve conservation methods and strategies.

НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА К ЗАДАЧАМ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Жарко Павичевич

*Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro,
Dzordza Vasingtona b.b., 81000 Podgorica, Montenegro
e-mail: zarkop@ac.me*



В лекции представлены приложения математического анализа в следующих задачах естествознания:

- преломление и отражение света
- падение тела в сопротивляющейся среде и гиперболические функции
- некоторые задачи из биологии
- некоторые задачи из химии

Для решения задач, рассмотренных в перечисленных разделах, используются начальные сведения из теории неопределенных интегралов, позволяющие решить простейшие дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными и уравнения, приводящие к ним. От слушателей требуется понимание понятия неопределенного интеграла как множества первообразных функций, знание табличных интегралов и простейших приемов интегрирования – интегрирование суммы функций, вынесения постоянных за знак интеграла и интегрирования сложных функций приемом поднесения под знак дифференциала.

Литература:

1. Г.М. Фихтенгольц, «Курс дифференциального и интегрального исчисления», т. 2, М.: Наука, 800с. (1969).
2. В.В. Добронравов, Н.Н. Никитин, «Курс теоретической механики», М.: Высш. Школа, 575с (1983).
3. V.I. Gavrilov, Ž. Pavićević, «Matematička analiza I», PMF & UNIREXS, Podgorica, 538s. (1994).
4. В.И. Гаврилов, Ж. Павичевић, А.В. Субботин, «Некоторые приложения математического анализа к задачам естествознания I», *Matematički Kolokvij XVIII* (2), с. 25-47 (2012).
5. В.И. Гаврилов, Ж. Павичевић, А.В. Субботин, «Некоторые приложения математического анализа к задачам естествознания II», *Matematički Kolokvij XVIII* (2), 49-68 (2012).

**APPLIED RESEARCH IN THE GERMAN FRAUNHOFER GESELLSCHAFT
(FRAUNHOFER SOCIETY) - IN GENERAL AND THE RESEARCH OF CUTTING
TECHNOLOGY IN THE INSTITUTE IWU IN CHEMNITZ**

Ulrich Semmler

Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (IWU), Chemnitz, Germany

Department of Cutting Technology

E-Mail: usemmler@yahoo.de



The German Fraunhofer Gesellschaft for Applied Research consists of more than 60 institutes and 54.000 employees all over Germany with some subsidiaries, joint labs and representatives around the world. In the lecture the Fraunhofer principle of applied research is explained and put in concrete terms for the Institute for Machine Tools and Forming Technology (IWU). The second part of the lecture gives an overview about mathematical and numerical modelling and simulation in metal cutting technology where the lecturer was employed during the last years.

HIGH FIELD OPTICAL PHYSICS

A. Savel'ev

Lomonosov Moscow State University

Moscow Russia

e-mail: abst@physics.msu.ru



This lecture introduces basic definitions, phenomena and state-of-art for one of the mainstream of modern physics lying at the intersection of laser physics, physics of plasma, and nuclear physics. The first part describes the general picture of laser-plasma interaction at high intensities ranging from 10^{14} to 10^{28} W/cm² and gives definitions for main "thresholds". Next, the generation of extreme field is described. Relativistic optics is in the focus of the third part, while next parts deal with hot topics in the field such as laser wakefield acceleration, ions acceleration, nuclear physics with lasers. Finally brief introduction to the modern ICF concepts is presented.

МЕТОД ХАРАКТЕРИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ АБЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРА-КОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

С. Климентов¹, С. Гизар², А. Мускефтарас², Н. Федоров³, А. Бильдэ²

¹ *Институт общей физики РАН, Вавилова 38, 119991 Москва, Россия*

² *Laboratoire des Solides Irradiés, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France*

³ *CELIA, Université Bordeaux I, Cours de la Libération F-33405 Talence, France*

kliment@kapella.gpi.ru

Воздействие мощных ультракоротких лазерных импульсов на прозрачные оптические кристаллы запускает цепочку фотоэлектронных и релаксационных механизмов, завершающихся, при определенных условиях, абляцией или модификацией материала. Необходимость их изучения диктуется потребностями развития лазерных технологий и прогнозирования оптической прочности элементов лазерных схем. В виду быстроты и многообразия явлений, исследования такого рода требуют применения совокупности методов, адекватных по чувствительности, временному и пространственному разрешению, позволяющих отслеживать кинетику свободных электронов в малых пятнах облучения и осуществлять мониторинг их энергии в зоне проводимости.

Цель исследований состояла в определении доминирующих механизмов передачи оптической энергии и ее последующей релаксации, приводящих к лазерной абляции или разрушению широкозонных оптических кристаллов. Мониторинг концентрации свободных электронов вблизи порога абляции осуществлялся посредством сверхбыстрой интерферометрии, а их распределение по энергиям измерялось методами фотоэлектронной спектроскопии. Для идентификации процессов межзонного и внутризонного поглощения, на поверхность материала воздействовали два мощных импульса Ti:Sa лазера (400 и 800 нм) с регулируемой задержкой и длительностью. Пороги абляции измерялись в той же двухимпульсной схеме в идентичных условиях. Таким образом, наиболее полная совокупность прямых измерений использовалась для характеристики межзонных переходов, внутризонного нагрева, релаксации и размножения электронов вблизи порога оптического пробоя.

Было показано, что в кристаллах с большим временем жизни свободных носителей заряда (сапфир, MgO) электрон-фононная релаксация, в совокупности с поглощением света в результате каскада оптических переходов в зоне проводимости, играет ключевую роль в цепочке процессов, приводящих к лазерной абляции в диапазоне длительностей лазерного воздействия от десятков фемтосекунд до нескольких пикосекунд. Энергия, сообщаемая внутризонным электронам, передается кристаллической решетке, что в конечном счете приводит к ее термической нестабильности. Вопреки высокой энергии электронов (до 20-30 эВ), ударной ионизации в материалах не наблюдалось. Размножение свободных электронов обнаруживалось лишь в кристаллах, для которых характерно быстрое образование автолокализованных экситонов (SiO₂, NaCl). Проведенные измерения и моделирование позволили сформулировать критерии оптического пробоя важной группы оптических материалов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛАЙНЕРА НА ЕГО ДВИЖЕНИЕ ВБЛИЗИ КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ МАГНИТНОГО УСКОРИТЕЛЯ

М.П. Галанин ¹, М.К. Крылов ², А.П. Лотоцкий ², А.С. Родин ¹

¹ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

²ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г. Троицк

rals@bk.ru

Выполнено исследование движения цилиндрических лайнеров в ускорителях под действием электромагнитных сил. Поскольку в подобных устройствах лайнер должен сохранять полную герметичность и электропроводность, то возникает задача предотвращения обрыва лайнера вблизи закрепленных концевых участков. Одним из способов решения указанной проблемы является профилирование толщины стенки лайнера на концах сжимаемой рабочей части оболочки.

Рассмотрены экспериментальные результаты по нахождению оптимального профиля ленточного лайнера, который можно рассматривать как выделенный вдоль образующей элемент цилиндрической поверхности. Сформулированы математическая и численная модели электромагнитных полей в ускорителе для случая, в котором полный ток является заданной величиной. Приведены расчеты по определению оптимального профиля цилиндрического лайнера, позволяющего получать максимальные деформации растяжения, не превышающие предельно допустимых величин. Для описания движения лайнера использована модель упругопластического тела для случая произвольных деформаций.

И в эксперименте с ленточным лайнером, и в расчетах с цилиндрическим лайнером получено, что протяженность области неоднородности, которая развилась в процессе движения, сопоставима с начальной длиной участка лайнера с переменным сечением.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке контракта по ФЦП № Н 4х44.90.14.1109 и Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 15-01-03073, № 16-31-00302).

KINETIC SIMULATION OF ELECTRON HEAT WAVE PROPAGATION IN COLLISIONAL LASER PRODUCED PLASMA**S.A. Karpov^{1,2}, I.F. Potapenko^{1,2}, V.Yu. Bychenkov^{1,3}**¹*All-Russia Research Institute of Automatics, Sushchevskaya, 22, 127055 Moscow, RF*.*²*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya Sq., 4, 125047 Moscow, RF.*³*Lebedev Physical Institute RAS, Leninskiy Prospekt 53, 119991 Moscow, RF.***e-mail: karpov.st@yandex.ru*

The interaction of intense laser radiation with plasma results in the appearance of high temperature and density gradients, which casts doubts on the possibility of describing actual laser experiments in the framework of the classical transport theory. To date, there are a lot of experimental data [1] confirming the idea about the nonlocal character of heat transport in laser produced plasmas. This concerns, first of all, the description of the heat flux, because the electron heat transport plays a crucial role in the energy balance in laser produced plasmas. The problem of the heat flux intensity is one of the key problems to be solved for successful implementation of inertial confinement fusion (ICF), because most energy of the incident laser radiation is absorbed far from the ignition region and is then carried deep into the plasma by the electron heat flux, which determines the heating rate, temperature, and compression ratio of the target.

The analytical theory of nonlocal transport is designed only for the small temperature perturbations [2]. So the only way to calculate the parameters of the heat transport in plasma with the temperature inhomogeneity scale length less or equal to one hundred electron mean free path lengths is the numerical simulation of the kinetic equation with Landau-Fokker-Planck collision operator.

In this work the algorithm for numerical solution of plasma kinetic equation in 1D3V geometry has been developed. For the nonlinear collision operator the direct simulation Monte Carlo method [3] was used. The initial temperature perturbation relaxation and the electron heat wave propagation from the heated wall for different initial plasma parameters and characteristic temperature gradients are studied. The comparison of the kinetic and hydrodynamic numerical simulation results is presented. Heat transport properties and the electron distribution structure in different space-temporal regions are analyzed.

Acknowledgements: The financial support of RFFI Grant N 16-01-00256 is gratefully acknowledged.

References:

1. N.G. Basov et al., J. Rus. Laser Res., v. 10, p. 438 (1989).
2. V.Yu. Bychenkov et al., Phys. Rev. Lett., v. 5, p. 4405 (1995).
3. A.V. Bobylev, I.F. Potapenko, Journal. Comp. Phys., v. 246, p. 123 (2013).

**NON EQUILIBRIUM STEADY-STATE DISTRIBUTIONS FOR WEAKLY
COLLISION PLASMAS AND GASES**

I.F. Potapenko

*KIAM RAS, Miusskaya Sq., 4, 125047, Moscow, RF
firena@yandex.ru*

Formation of a non equilibrium steady-state distribution function of particles with the power-law interaction potentials $U = r^{-s}$, where $1 < s < 4$, is studied numerically.

Consideration is based on the one dimensional nonlinear kinetic equation of a Landau – Fokker - Planck type in the presence of particle (energy) sources. Non equilibrium quasi steady-state local distributions exist inside the momentum interval between the energy (particle) source and the bulk (or sink) of the particle distribution and has the form of gradually decreasing functions. Numerical calculations based on the completely conservative difference schemes are accompanied by the analytical consideration and comparison with the experimental results is given.

Obtained results can be useful in connection with the development of high-power particle and energy sources, additional heating in laboratory plasmas, as well as for the prediction of the semiconductors behavior under the action of particle beams or electromagnetic radiation.

Acknowledges: The financial support of RFFI Grant N 16-01-00256 is gratefully acknowledged.

References :

1. И.Ф.Потапенко, "Формирование функции распределения электронов в слабо столкновительной плазме в процессе нагрева" Инженерная физика. № 5, 31-49 (2012).

LASER SURFACE TEXTURING TO CONTROL FRICTION OF DIAMOND-LIKE CARBON FILMS

S.M. Pimenov¹, M.S. Komlenok¹, E.V. Zavedeev¹, V.D. Frolov¹, N.R. Arutyunyan¹, M.L. Shupegin²,
A.D. Barinov², O.S. Zilova², T. Roch³, H.-J. Scheibe³

¹*General Physics Institute, Moscow 119991, Russia*

²*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 111250 Moscow, Russia*

³*Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS), Dresden 01277, Germany*

pimenov@nsc.gpi.ru

Laser surface texturing is an advanced technique to control the friction and wear properties of hard materials and coatings under various sliding conditions in which the fabricated surface micropatterns (microcraters, microgrooves, etc) may function as reservoirs for liquid or solid lubricants and traps for wear particles. For hard diamond-like carbon (DLC) films, the laser-induced structure transformation (graphitization) of a surface layer allows various microstructures – micro-hills (regime of graphitization) or micro-dimples (regime of ablation) – to be fabricated on the film surface, resulting in various effects on nanoscale friction and macroscopic friction properties of laser-patterned films.

In this paper we present recent experimental findings of laser surface texturing of different DLC coatings, aimed at modification of their frictional properties on the nano and macroscale. Three types of DLC films were used, including: (i) superhard tetrahedral bonded amorphous carbon (ta-C) films, (ii) hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) films, and (iii) diamond-like nanocomposite (a-C:H,Si:O) films. For surface micropatterning, UV nanosecond-pulse lasers (wavelengths 248 nm, 355 nm and pulse duration 10-20 ns) were used. The laser-produced one-dimensional surface relief gratings represented arrays of parallel micro-swells or microgrooves with the period from 4 μm to 10 μm. The laser irradiation was performed at low fluences corresponding to the conditions of surface graphitization and incipient ablation. It was found that the laser-induced graphitization and spallation in the surface layers strongly influenced the nanoscale topography and frictional properties of laser-micropatterned films studied with lateral force microscopy (LFM) and ball-on-flat tribometer testing. The LFM studies of laser-patterned ta-C and a-C:H films [1,2] revealed that the surface graphitization resulted in a decreased nanoscale friction in laser-irradiated regions, while the result was opposite (i.e. increased friction) for diamond-like nanocomposite films due to microspallation effects. The obtained correlations between the DLC film structure, thermal simulation of laser patterning process, nanoscale and macroscale friction properties of laser-textured DLC films are discussed.

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Science Foundation under project No. 15-12-00039.

References:

1. M.S. Komlenok, V.V. Kononenko, E.V. Zavedeev, V.D. Frolov, N.R. Arutyunyan, A.A. Chouprik, A.S. Baturin, H.-J. Scheibe, M.L. Shupegin, S.M. Pimenov, "Laser surface graphitization to control friction of diamond-like carbon coatings", *Appl. Phys. A* 121, 1031–1038 (2015)
2. M.S. Komlenok, N.R. Arutyunyan, V.V. Kononenko, E.V. Zavedeev, V.D. Frolov, A.A. Chouprik, A.S. Baturin, H.-J. Scheibe, S.M. Pimenov, "Structure and friction properties of laser-patterned amorphous carbon films", *Diamond Relat. Mater.* 65, 69–74 (2016)

MODELLING OF THE NANOSECOND LASER ABLATION WITH THE USE OF ANSYS FLUENT

T. Moscicki, J. Hoffman, Z. Szymanski

*Institute of Fundamental Technological Research, ul. Pawinskiego 5B, 02-106 Warsaw, Poland
zszym@ippt.pan.pl*

The model describing both the target heating, and plasma formation and expansion, consists of conservation equations of mass, momentum and energy. Set of equations is solved in axial symmetry with the use of the Ansys - Fluent software package [1]. The model was proven to give results in agreement with experimental ones [2]. The calculations were made only in the early phase of expansion because Fluent is a one temperature model. After the cessation of the laser pulse, the energy equilibration time between electrons and heavy particles is a few nanoseconds and due to high electron density it can be assumed that $T_e \approx T_h$ during first 50-100 ns of the plume expansion. Figure 1 shows the evolution of axial values of the plasma temperature, pressure and velocity during the carbon ablation into vacuum. Calculations were made for two wavelengths of an Nd:YAG laser– 355 nm and 1064 nm. The development of the plasma results in the growth of temperature and consequently the increase in pressure which in turn accelerates the plume. The greater ablation rate in the case of 355 nm results in higher pressure (and density) while a higher plasma temperature and velocity in the case of 1064 nm is the result of stronger plasma absorption.

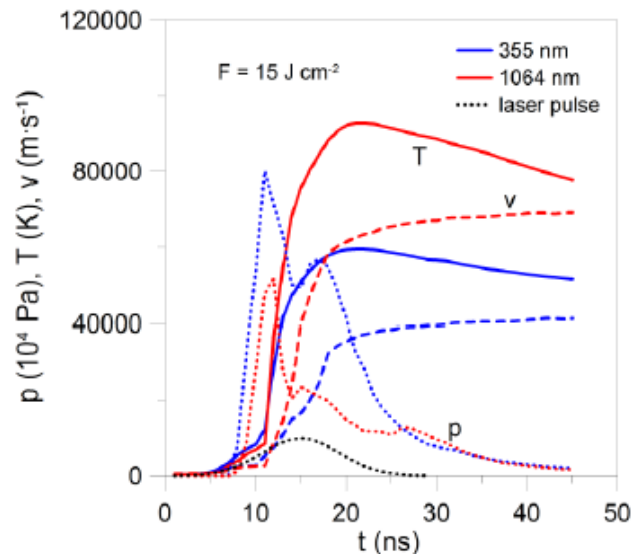


Fig.1. Axial distributions of plasma parameters during the ignition. Solid line — temperature, broken line — velocity, dotted line— pressure.

Corresponding calculations have been made in cases of the ablation into an ambient gas and in water and will be presented.

References

1. ANSYS® Academic Research, Release 14.0, Ansys Fluent User's Guide, ANSYS, Inc.
2. J. Hoffman, T. Moscicki, and Z. Szymanski, "Acceleration and distribution of laser-ablated carbon ions near the target surface" J. Phys. D: Appl. Phys. 45, 025201 (2012)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЫБОРА ПОЗИЦИЙ ИНДИВИДАМИ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СОЦИУМЕ

О.Г. Прончева

*Институт Прикладной Математики им М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д.4
Московский Физико-Технический Институт (ГУ, 141700, Московская область,
г. Долгопрудный, Институтский пер., 9)
olga.proncheva@gmail.com*

Работа посвящена исследованию модели информационного противоборства, построенной в [1] на основе модели подражательного поведения Н.Рашевского [2]. Рассматривается процесс выбора индивидом одной из двух предлагаемых точек зрения. Каждый индивид характеризуется своей внутренней склонностью φ к выбору той или иной реакции. Если $\varphi > 0$, то индивид, при условии отсутствия внешних стимулов, демонстрирует первую точку зрения, если $\varphi < 0$ - то вторую. В качестве внешнего стимула рассматривается текущая численность индивидов, демонстрирующих ту или иную точку зрения. В данной работе предполагается, что общество поляризовано, т.е. индивиды имеют плотность распределения $N(\varphi)$:

$$N(\varphi) = \begin{cases} 0, & \varphi < -d - h \\ \frac{N_0}{4h}, & -d - h \leq \varphi \leq h - d \\ 0, & h - d < \varphi < d - h, \quad 0 < h < d. \\ \frac{N_0}{4h}, & d - h \leq \varphi \leq d + h \\ 0, & \varphi > d + h \end{cases}$$

где N_0 - численность индивидов в группе.

Исследуется вопрос о том, как степень поляризации d общества влияет на развитие информационного процесса.

Модель имеет вид интегро-дифференциального уравнения, в котором неизвестная функция находится под знаком производной и в пределе интегрирования, а также выступает как аргумент от некоторой экзогенно заданной функции. Исследование проводится аналитическими и численными методами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-01-0100306) и РГНФ (проект № 15-03-00435).

Литература:

1. А.П.Петров, А.И.Маслов, Н.А.Цаплин. "Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме". Математическое моделирование, Т.27, №12, С.137-148 (2015).
2. N. Rashevsky. "Outline of a Physico-mathematical Theory of Excitation and Inhibition. Protoplasma (1933).

CONTINUAL AND MOLECULAR DYNAMIC APPROACHES IN DETERMINING THE THERMAL PROPERTIES OF SILICON

O.N. Koroleva^{1,2}, A.V. Mazhukin^{1,2}

¹*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS*

²*National Research Nuclear University MEPhI*

Determination of thermophysical properties of silicon for the problems of interaction of laser radiation and the silicon is a difficult task due to the physical characteristics of semiconductors. Under normal conditions, the semiconductor (crystalline silicon) is a dielectric weakly absorbing or completely transparent for laser radiation. The molten metal acquires the properties of silicon. The mathematical description of nonequilibrium heating of silicon is required to consider a number of additional factors, such as the ambipolar transport of charge carriers (electrons and holes), photoexcitation of atoms in the lattice, photo- and heat generation (photo- and collisional ionization), the temperature dependence of change of the width of the forbidden band, recombination processes and several others. As well as in metals, non-equilibrium heating of semiconductors (silicon) takes place by a wide margin of temperatures of carriers from the grid, so in problems of laser exposure silicon can be considered as an object consisting of two interacting subsystems - electron and phonon. In this case, for each of the subsystems it is necessary to determine the thermophysical, optical and thermodynamic properties, varying over a wide temperature and frequency ranges. Therefore, to determine the properties of the electronic subsystem was used continuum approach for the phonon subsystem - the molecular-dynamic approach.

The continuum approach is carried out by calculation using the statistics of electron gas of semiconductors, the main provision of which is the determination of the distribution function $f(p, r)$ [1, 2]. Under the distribution function means the probability density of the electron at point r with momentum p . In the case of thermodynamic equilibrium is used classical Maxwell-Boltzmann statistics for non-degenerate electron gas and Fermi-Dirac quantum statistics for a degenerate electron gas. In case of violation of conditions of local thermodynamic equilibrium distribution functions are determined by solving the classical Boltzmann kinetic equation or quantum kinetic equations. The distribution function has the necessary minimum of information that can be used to describe non-equilibrium processes with reasonable accuracy.

Molecular dynamics (MD) approach is based on the solution of system of Newton's equations of motion for each particle in three-dimensional space, allows us to consider the behavior of each particle directly, and receive detailed information about the kinetics and mechanisms of laser melting of silicon target [3].

When using the MD models for investigation of various properties of a substance vital role played by the choice of interaction potential between the particles because the accuracy of the results depends directly on the building.

The report presents the results of calculations of thermophysical characteristics of silicon using a continuum and molecular dynamics approaches.

This work was supported by RSF (project № 15-11-30039).

References:

1. L.S. Stilbans, «Semiconductor Physics», M.: Sov. radio, (1967).
2. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, P.V. Breslavskiy, «Approximation of Fermi-Dirac integrals of different orders used to determine the thermal properties of metals and semiconductors», *Mathematica Montisnigri*, Vol XXXV, pp. 37-53 (2016).
3. V. P. Lipp, B. Rethfeld, M. E. Garcia, D. S. Ivanov, «Atomistic-continuum modeling of short laser pulse melting of Si targets», *Physical Review B* **90**, 245306 (2014).

INDUCED “TRANSPARENCY” OF CSCM DURING EARTHING OF ABLATIVE TORCH AT LASER RADIATION EXPOSURE

Tsarkova O. G.

*A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow
olga@kapella.gpi.ru*

At influence of CW laser radiation $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$, $W_{\text{laser}}=20 \text{ kW}$, $t_{\text{laser}}=4.5 \text{ s}$, $S_{\text{laser}}=8 \text{ cm}^2$ on carbon silicon carbide composite material (CSCM) sample of 0.35 cm thick [1,2] there were identified temperatures of a front surface (using pyrometer) and a back surface (using thermocouples) depending on time. A reduction of a temperature of a front surface on 300 K for 0.02 s and an increase up to previous temperature level (about 3200 K) for subsequent 0.01 s in the absence of considerable changes in laser radiation intensity are revealed.

This change of the frontal temperature has happened during an earthing of an ablative frontal torch in the experiment. At the same time, a luminescence and a torch on the back surface appeared and indications of thermocouples continued to grow up to the values exceeding of the pyrometer values on 500 K after turned off the laser. The luminescence of the torch on a back surface has reached a maximum through 0.3 s after the laser off and continued to burn whereas the frontal torch wasn't observed anymore. It is worth noticing that indications of the thermocouples during beginning formation of the torch on the back surface were smaller than indications of the pyrometer during formation of the torch on the front approximately on 400 K.

The integrity of the sample without forming a through hole by burning was confirmed after cooling of the sample.

The reasons of a possible transmission of the laser radiation through CSCM sample at earthing of the frontal torch and drain of volume charges are discussed in the investigation. Modeling of a temperature distribution in the sample and its comparison with experimental dependences is carried out.

The calculation shows that at the time of the fall of the frontal temperature the temperature increasing of the back surface with the formation of the torch can be explained by an induced “transparency” CSCM with extinction coefficient less than 10 cm^{-1} on average on the thickness of the sample.

Acknowledgements: The author would like to thank employees of the following organizations for the experimental data received within the framework of the joint contract and presented in the thesis: of The Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF) (Sarov), JSC “MIC “Mashinostroyeniya” (Reutov) and Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences (GPI RAS) (Moscow).

References:

1. O.G. Tsarkova, A.A. Rukhadze, V.P. Tarakanov, V.B. Tsvetkov, S.V. Garnov, V.V. Nazarenko, P.Ya. Nosatenko, B.A. Vyskubenko, “Estimation of the absorptivity of a constructive material at unknown losses in ablation plume during laser ablation” *Phys. Wave Phenom.*, V. 20, № 1, 18-23 (2012).
2. O.G. Tsarkova, V.B. Tsvetkov, A.A. Rukhadze, S.V. Garnov, V.V. Nazarenko, P.Ya. Nosatenko, “Analysis of the sizes and number of microparticles in the ablation plume, which attenuates laser radiation during ablation of a constructive material” *Phys. Wave Phenom.*, V. 20, № 1, 24-34 (2012).

**ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ И ИОНИЗАЦИЯ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ
ПЛАЗМЫ В МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ БЕЗ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

А.В. Пенто¹, С.С. Алимпиев², С.М. Никифоров², Я.О. Симановский², А.Б. Бухарина¹,
Р.С. Аблизен¹

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д.38*
²*ООО «Новые Энергетические Технологии», 143025, Московская обл., Одинцовский р-н, дер.
Сколково, ул. Новая, д.100*
pentan@mail.ru

Разработан новый метод масс-спектрометрического анализа органических объектов времени с применением лазерной абляции и ионизации продуктов абляции жёстким УФ излучением лазерной плазмы при атмосферном давлении в режиме реального времени. Метод позволяет анализировать газообразные, жидкие и твёрдые органические объекты без предварительной подготовки. Возможности метода продемонстрированы на примере быстрого анализа таблетированных лекарственных препаратов, анализа окружающего воздуха и построения масс-спектрометрических изображений образцов биологических тканей.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы». Соглашение № 14.579.21.0020 (уникальный идентификатор RFMEFI57914X0020).

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТКИ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ С ПРОТЯЖЕННОЙ ПЛАЗМОЙ**

Шуляпов С.А., Цымбалов И.Н., Иванов К.А., Крестовских Д.А., Волков Р.В., Быченков В.Ю.,
Брантов А.В., Ксенофонтов П.А., Савельев А.Б.

¹*МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва*

²*Физический институт РАН им.П.Н. Лебедева, Москва*
Ser270489@yandex.ru

Представлены экспериментальные и численные результаты по ускорению электронов и генерации гамма-излучения при взаимодействии интенсивного (свыше 1018 Вт/см²) короткого (50 фс) лазерного импульса с твердотельными мишенями, над поверхностью которых с помощью дополнительного наносекундного лазерного импульса создана преплазма. Экспериментально показано, что изменение параметров наносекундного импульса существенно влияет на механизмы ускорения электронов и может приводить к существенному повышению их энергии. Для диагностики протекающих процессов использованы оптические (спектроскопия, интерферометрия, теневая фотография) и рентгеновские методы.

Проведено всестороннее моделирование такого взаимодействия с использованием метода крупных частиц (код Мандор). Выявлены режимы, в которых основной вклад в ускорение электронов дают такие процессы, как рамановская неустойчивость, двухплазмонный распад, резонансное поглощение и других механизмы. Показано, что основным процессом, обеспечивающим формирование быстрых релятивистских электронов, является возбуждение плазменных волн и их распад (wave breaking).

Благодарности: Настоящая работа поддержана грантом РФФИ 16-02-00263. С.А.Ш. выражает благодарность Совету по грантам Президента РФ за предоставление финансовой поддержки в виде стипендии Президента РФ СП-1265.2015.2.

**MODELING OF LASER EVAPORATION OF ALUMINUM WITH EXPLICIT
TRACKING OF INTERPHASE BOUNDARIES AND SHOCK WAVES**

M.M. Demin¹, A.V. Shapranov^{1,2}, V.I. Mazhukin^{1,2}, P.V. Breslavskii¹

¹*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS*

²*National Research Nuclear University MEPhI*

We consider the one-dimensional model of gas dynamics taking into account the formation of plasma and radiative transfer in a gaseous medium describing laser heating, melting and evaporation of aluminum in air atmosphere. The laser pulse duration is 200 ns, the fluence is 700 J/cm². In the calculations, we simulate the appearance of plasma that is opaque to laser radiation and heating the target surface by the plasma radiation. The influence of plasma on the evaporating surface is manifested in the short-term change of evaporation with condensation, Fig. 1. Plasma formation is accompanied by appearance of shock waves inside the plume, which calculation with explicit tracking allows to take into account the reflection of a shock wave from the evaporating surface, a shock wave passage through the contact

boundary and interaction of two shock waves with the formation of a shock wave and contact discontinuity. Accounting for these subtle effects is possible through the use of dynamic adaptation method [1,2], which allows to carry out calculations with explicit tracking of interfaces and shock waves.

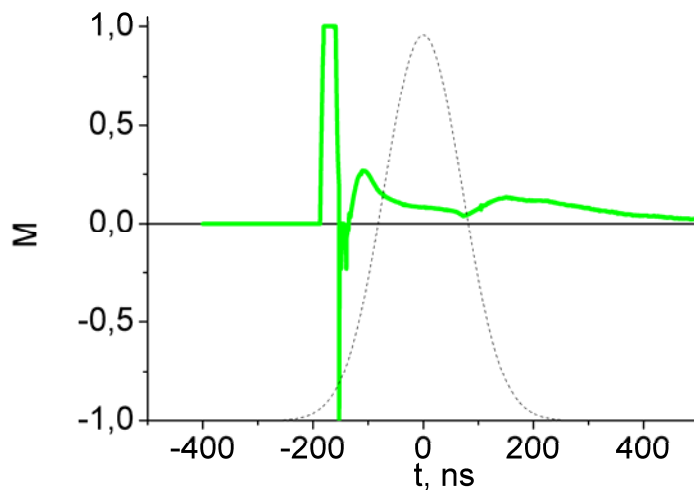


Fig.1. Time dependence of Mach number at the evaporating surface

Acknowledgements: This work was supported by RSF (project No. 15-11-30039).

References:

1. P.V. Breslavskiy, O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, "The evolution of the plasma formation in the gas medium, modeling with visualization of the grid nodes dynamics and the interaction of shock and thermal waves". Electronic Journal "Scientific Visualization" v.7, 5, pp. 1-11, (2015).
2. V.I. Mazhukin, M.M.Demin, A.V.Shapranov, I.Smurov, "The method of construction dynamically adapting grids for problems of unstable laminar combustion", Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, v 44, 4, pp. 387 - 415 (2003).

МАСШТАБИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ МИКРОЛАЗЕРОВ ДЛЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СВЯЗЫВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ КАНАЛОВ ГЕНЕРАЦИИ

Мамонов Д.Н.¹, Климентов С.М.¹, Державин С.И.¹, Сироткин А.А.¹,
Пивоваров П.А.¹, Подмазов С.В.²

¹ *Институт общей физики РАН, Вавилова 38, 119991 Москва*

² *Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700, г. Долгопрудный.*

mamonau.dzmitry@gmail.com

Импульсное лазерное излучение с успехом используется для инициации горения топливной смеси в двигателях с последующим распространением волны горения по объему камеры сгорания. Создание высокотемпературной плазмы оптического разряда является основным видом такой инициации. Несмотря на невысокие пороговые значения плотности мощности пробоя воздуха при нормальных условиях, надежное воспламенение требует применения коротких импульсов с энергией 5-100 мДж для компенсации оптических потерь и искажения волнового фронта.

Использование продольной диодной накачки позволяет создавать малогабаритные, эффективные и надежные лазеры, генерирующие короткие импульсы. Их мощность ограничена, однако, малостью объема активной среды. В работе экспериментально и теоретически исследуется кратное масштабирование энергии и мощности таких лазеров при когерентном связывании нескольких излучающих областей в рамках одного кристалла Nd:YAG, создаваемых за счет сегментированной торцевой накачки. Дифракционное «перетекание» излучения между близко расположенными каналами приводит к тому, что генерация, возникшая в одном из каналов, «включает» генерацию в соседних с задержкой по времени от долей наносекунд до нескольких сотен наносекунд в зависимости от расстояния между ними. В случае быстрого включения каналов система излучает «единый» импульс с длительностью незначительно превышающей длительность импульса генерации одного канала. Используя принцип связывания семи плотноупакованных каналов генерации при продольной секционированной накачке, было создано семейство миниатюрных лазеров с рекордными для данного типа устройств значениями выходной энергии и мощности коротких импульсов (20 мДж, 6.6 МВт) [1]. Воспламеняющие устройства на их основе были разработаны в рамках программы по лазерному зажиганию кислород-керосиновых смесей в ракетных двигателях, завершившейся серией успешных пробных запусков.

Проведено численное моделирование динамики связывания при многопроходной трансформации поля генерации в резонаторе в условиях неоднородного усиления с использованием упрощенной схемы Гюйгенса-Френеля. Изменение инверсии учитывалось при помощи скоростных уравнений. Конечная цель моделирования состоит в предсказании пространственно-временных характеристик излучения при произвольном распределении интенсивности накачки в активном элементе.

Литература:

1. Мамонов Д. Н. и др. “Мощный компактный лазер с сегментированной продольной накачкой связанных каналов генерации” Квантовая электроника, Т. 45, с. 508-510 (2015).

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АБЛЯЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ПОД ДЕЙСТВИЕМ СУБПИКОСЕКУНДЕЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Лопаницына Н.Ю.^{1,2}, Куксин А.Ю.², Стариков С.В.²

¹МФТИ, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер. 9

²ОИВТ Россия, г. Москва, ул. Ижорская 13 стр 2

lopanitsyna@phyestech.edu

В последнее время интенсивно исследуются возможности получения различных наноструктур путем воздействия субпикосекундных лазерных импульсов на поверхность металла [1]. В частности, в экспериментах при облучении алюминия наблюдалось образование наноструктур на поверхности образца, а при облучении многослойной структуры из золота и кремния были получены core-shell частицы. Воздействие субпикосекундных лазерных импульсов на поверхность металла сопровождается явлением абляции. Также делаются попытки определить предельные напряжения, достижимые в расплаве при высокоскоростной деформации, на основе экспериментов с субпикосекундными лазерными импульсами [2]. Определение прочности на растяжение при деформации металлического расплава представляет интерес из-за проблем, связанных с получением наночастиц при абляции вещества с поверхности под действием лазерного облучения.

В настоящей работе на основе молекулярно-динамического моделирования на примере алюминия, железа, молибдена и олова были исследованы характеристики метастабильного растянутого расплавленного состояния и проанализированы процессы, происходящие при зарождении полостей. Была произведена проверка применимости классической теории нуклеации для описания частоты зарождения полостей в расплаве и рассмотрена поправка Толмана, учитывающая зависимость поверхностного натяжения от радиуса кривизны. На основе полученных данных была сделана оценка динамической прочности жидких металлов в зависимости от скорости растяжения. Проведено сравнение прочности, рассчитанной на основе классической теории нуклеации, непосредственно с прямым молекулярно-динамическим расчетом в системе большого размера и с экспериментом.

Также было проведено моделирование процесса образования core-shell частицы из кремния и золота. Было выяснено, что в процессе формирования такой структуры расплав кремния обволакивает ядро из золота, а также имеют место диффузионные процессы: в жидкой фазе кремний быстро проникает в золото. Для произведения такого расчета была построена модель потенциала взаимодействия золото-кремний на основе расчетов по теории функционала плотности.

Литература

1. А.А. Ионин и др., «Наномасштабная кавитационная неустойчивость поверхности расплава вдоль штрихов одномерных решеток нанорельефа на поверхности алюминия» Письма в ЖЭТФ, 94, 289-292 (2011)
2. М.Б. Агранат и др., «Прочностные свойства расплава алюминия в условиях экстремально высоких темпов растяжения при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов» Письма в ЖЭТФ, 91, 517 (2010)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Чижов П.А.¹, Букин В.В.¹, Гарнов С.В.¹, Ушаков А.А.^{1,2}

¹Институт общей физики РАН, Москва, ул. Вавилова, д. 38

²Московский государственный университет, Москва, Ленинские горы, д. 1
pvch@inbox.ru

Лазерная плазма, возникающая при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с веществом, является в последние десятилетия одним из основных объектов исследований в лазерной физике. Высокая интенсивность, которая необходима для ионизации среды такими импульсами, вызывает также большое количество нелинейно-оптических процессов при взаимодействии с светом с веществом (генерация суперконтинуума, высоких гармоник лазера, рентгеновского и терагерцового излучения)[1]. При этом использование схем типа накачка-зондирование позволяет изучать динамику различных процессов в среде с временным разрешением порядка длительности лазерного импульса. Одной из экспериментальных методик основанных на данном принципе является метод просвечивающей интерферометрии, позволяющий проводить прямые измерения размеров и распределения электронной концентрации в плазме[2,3].

В настоящей работе приведены результаты исследований параметров плазменного канала фемтосекундного филамента в газах (воздух, азот, аргон) при давлениях в диапазоне 1-7 атмосфер. Обнаружена нелинейная зависимость начальной электронной концентрации в плазменном канале от давления в азоте и воздухе. Зарегистрирована анизотропия показателя преломления при прохождении высокоинтенсивного лазерного излучения в среде.

Также методом просвечивающей интерферометрии исследованы параметры микроплазмы в воздухе при пониженных давлениях от 0.1 до 1 атмосферы. При понижении давления зарегистрировано исчезновение второго нелинейного фокуса, возникающего за счет рефокусировки лазерного излучения.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН «Экстремальное лазерное излучение: физика и фундаментальные приложения»

Литература:

1. Chin S.L., Wang T.-J., Marceau C., Wu J., Liu J. S., Kosareva O.G., Panov N.A., Chen Y.P., Daigle J.-F., Yuan S., Azarm A., Liu W. W., Seideman T., Zeng H. P., Richardson M., Li R., and Xu Z. Z. "Advances in intense femtosecond laser filamentation in air" Las. Phys., Vol. 22 (1), 1-53 (2012)
2. Букин В.В., Гарнов С.В., Малютин А.А., Стрелков В.В. "Фемтосекундная лазерная микроплазма оптического пробоя газов: динамика процессов ионизации и постиионизации", Квант. Электроника., Т. 37 (10), 961-966 (2007)
3. Bodrov S., Bukin V., Tsarev M., Murzanev A., Garnov S., Aleksandrov N. and Stepanov A. "Plasma filament investigation by transverse optical interferometry and terahertz scattering", Opt. Express., Vol. 19 (7), 6829-6835 (2011)

MODELING OF THERMOACOUSTIC AND EVAPORATION PRESSURE SIGNALS IN ABSORBING LIQUIDS IRRADIATED WITH NANOSECOND LASER PULSES

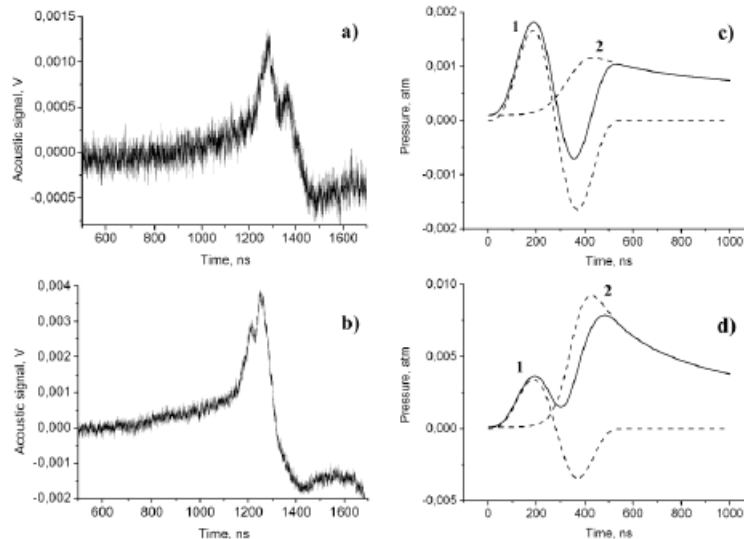
Zubko A.E.¹, Samokhin A.A.²

¹ Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow, ul. Baumanskaya 2-ya, 5/1,
E-mail: zubko.aleksey11@gmail.com

² Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Vavilov Str., 38
E-mail: asam40@mail.ru

Keywords: absorbing liquids, thermoacoustic signal, nanosecond laser ablation, evaporation pressure.

Abstract. Pressure generation in absorbing liquids irradiated with nanosecond laser pulses is mainly due to thermoacoustic and evaporation mechanisms provided the laser intensity is not too high. Despite many years of investigations some aspects of the problem remain unclear (see *e.g.*, [1] and references therein). This concerns, in particular, to surface evaporation and explosive (volume) boiling regimes as well as non-equilibrium superheated liquid behavior in near-critical region. We investigate theoretically pressure behavior in water and ethanol irradiated with nanosecond Er-laser ($\lambda = 2.94 \mu$) and CO₂-laser ($\lambda = 10.6 \mu$) pulses in the framework one-dimensional continuum approach. Comparison the theoretical results with experiments [1] shows that experimental vaporization pressure peaks at the threshold are shorter than theoretical pulses calculated for the case of surface evaporation into vacuum. This difference is probably due to ambient atmosphere effect and the difference between surface evaporation and explosive boiling regimes.



Experimental pressure curves (a,b) at different fluences $E_b=2E_a$ and theoretical (c,d) curves for thermoacoustic (1), vaporization (2) and the total (solid line) pressure at the condition $E_d=2E_c$ in water irradiated Er-laser (200 ns, 2.94 μ).

References:

1. A.A. Samokhin, N.N. Il'ichev, A.Yu. Ivochkin, "Acoustical monitoring and mathematical modeling of laser ablation process", *Mathematica Montisnigri*, Vol. **24**, 31-46 (2012)

ELASTIC CONTINUUM THEORY OF THE TWIST-BEND NEMATIC PHASES

L. R. Evangelista¹, G. Barbero², M. Rosseto¹, R. S. Zola³, and I. Lelidis⁴

¹*Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá,
Avenida Colombo, 5790-87020-900 Maringá, Paraná, Brazil.*

²*Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino,
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy.
e-mail giovanni.barbero@polito.it*

³*Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana,
Rua Marcílio Dias 635, 86812-460 Apucarana, Paraná, Brazil.*

⁴*Solid State Section, Department of Physics, University of Athens,
Panepistimiopolis, Zografos, Athens 157 84, Greece.*

The recently discovered twist-bend nematic phase, N_{TB} , has been theoretically predicted by Meyer [1] and Dozov [2], and has been experimentally evidenced by a number of studies (see e.g., Refs. [3], [4], and [5]). It may be viewed as a heliconical molecular arrangement in which the director \mathbf{n} precesses uniformly about an extra director field, \mathbf{t} , and corresponds to a nematic ground state exhibiting nanoscale periodic modulation [6]. To demonstrate the stability of this phase from the elastic point of view, a natural extension of the Frank elastic energy density is proposed [7]. The elastic energy density is built in terms of the elements of symmetry of the new phase in which intervene the components of these director fields together with the usual Cartesian tensors. It is shown that the ground state corresponds to a deformed state for which $K_{22} > K_{33}$. In the framework of the model, the phase transition between the usual and the twist-bend nematic phase is of second order with a finite wave vector. The model does not require a negative K_{33} in agreement with recent experimental data that yield $K_{33} > 0$. A threshold is predicted for the molecular twist power below which no transition to a twist-bend nematic may occur.

References:

1. R. B. Meyer, in *Molecular Fluids*, edited by R. Balian and G. Weill, Vol. XXV-1973 of Les Houches Summer School in Theoretical Physics (Gordon and Breach, New York), pp. 273-373 (1976)
2. I. Dozov, *Europhysics Letters* **56**, 247 (2001).
3. M. Cestari et al., *Physical Review E* **84**, 031704 (2011).
4. D. Chen et al., *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **110**, 15931 (2013).
5. V. Borshch et al., *Nature Communication* **4**, 2635 (2013).
6. E. Virga, *Physical Review E* **89**, 052502 (2014).
7. G. Barbero et al., *Physical Review E* **92**, 030501 (R) (2015).

**PHENOMENOLOGY OF IRON-PNICTIDES SUPERCONDUCTORS EXPLAINED
IN THE FRAMEWORK OF MULTIBAND ELIASHBERG THEORY**

G.A. Ummarino^{1,2}

¹*Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino,
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow Engineering Physics Institute,
Kashira Hwy 31, Moskva 115409, Russia
e-mail giovanni.ummarino@infm.polito.it*

The phenomenology of iron pnictide superconductors can be explained in the framework of a three-band s_{\pm} wave Eliashberg theory with only two or three free parameters plus a feedback effect, i.e., the effect of the condensate on the antiferromagnetic spin fluctuations responsible for the superconductivity in these compounds. The bosons responsible of superconductivity are antiferromagnetic spin fluctuations and, in one case, also together with phonons. I have examined the experimental data of six materials, $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$, $\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$, $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$, $\text{Ba}(\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x})_2\text{As}_2$, $\text{FeTe}_{1-x}\text{Se}_x$ and LiFeAs and I have found that it is possible to reproduce the experimental critical temperature, the gap values and the temperature dependence of upper critical magnetic field in a moderate strong-coupling regime, $\lambda_{\text{tot}} \approx 1.5 - 2.0$.

References :

1. G.M. Eliashberg, "Interactions between electrons and lattice vibrations in a superconductor", Sov. Phys. JETP, **11**, 696 (1960).
2. G.A. Ummarino, "Temperature-dependent spin resonance energy in iron pnictides and multiband s_{\pm} Eliashberg theory", Phys. Rev. B **83**, 092508 (2011).
3. G.A. Ummarino, Sara Galasso, A. Sanna, "A phenomenological multiband Eliashberg model for LiFeAs ", J. Phys.: Condens. Matter **25**, 205701(2013).
4. G.A. Ummarino, D. Daghero, "Possible mixed coupling mechanism in $\text{FeTe}_{1-x}\text{Se}_x$ within a multiband Eliashberg approach", J. Phys.: Condens. Matter, **27**, 435701, (2015).

NON-UNIFORM SPLINE WAVELETS

A.L. Afendikov

*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia
andre@keldysh.ru*

The work is devoted to the development of the multilevel non-uniform Cartesian mesh refinement in CFD problems. For solution smoothness evaluation we use sliding window method with the patterns of different size and shape. To capture areas where the higher resolution is required we use wavelet decomposition of grid functions on these non-uniform local patterns. The advantages of such approach will be demonstrated on several examples.

Acknowledgements: The work is supported by the Russian Science Foundation grant No 14-11-00872.

References:

1. Афендиков А.Л., Меркулов К.Д., Плёнкин А.В. “Сравнительный анализ подходов к численному моделированию газодинамических течений на двухуровневых адаптивных расчетных сетках”, Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша № 95, 24 с., (2015) <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-95>
2. Афендиков А.Л., Давыдов А.А., Меньшов И.С., Меркулов К.Д., Пленкин А.В. “Алгоритм многоуровневой адаптации сеток по критериям на основе вейвлет-анализа для задач газовой динамики”, Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша № 97, 22 с., (2015) <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-97>
3. Афендиков А.Л., Луцкий А.Е., Меньшов И.С., Меркулов К.Д., Пленкин А.В., Ханхасаева Я.В. “Алгоритм динамической локальной адаптации сеток на основе вейвлет-анализа с использованием метода свободной границы”, Препринт ИПМ им.М.В.Келдыша № 94, 20 с., (2015) <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-94>

ALGORITHM OF COMPETING PROCESSES FOR THE RICHARDSON ITERATION METHOD WITH THE CHEBYSHEV PARAMETERS

Mikhail V. Popov^{1,2}, Yuriy A. Poveschenko^{2,3}, Igor .V. Popov^{2,3}, Vladimir A. Gasilov^{2,3}, and Alexander V. Koldoba⁴

¹ *Univ Lyon, ENS de Lyon, Univ Lyon1, CNRS, Centre de Recherche Astrophysique de Lyon UMR5574, F-69007, Lyon, France,*

² *Keldysh Institute of Applied Mathematics, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia*

³ *National Research Nuclear University MEPhI, 31 Kashirskoe sh., 115409 Moscow, Russia*

⁴ *Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudnyy, 141700 Moscow region, Russia
mikhail.v.popov@gmail.com, hecon@mail.ru*

A method for solving linear systems of equations with signdefinite self-adjoint operator matrix by the Richardson iteration method in case of the absence of information about the lower spectral bound of a problem is presented. The algorithm is based on the simultaneous operation of two competing iterative processes, the effectiveness of which is constantly analyzed. The method is explained on an example of onedimensional steady-state heat equation.

Keywords: Systems of linear algebraic equations; Matrix inversion; Iterative methods; Richardson iteration method.

Acknowledgements: This work was supported by RFBR grants №№ 15- 07- 05025.

GODUNOV METHOD: A GENERALIZATION USING PIECEWISE POLYNOMIAL APPROXIMATIONS IN THE MULTIDIMENSIONAL CASE

V. F. Tishkin¹, M.E. Ladonkina¹

IKeldysh Institute of Applied Mathematics, Miusskaya sq., 4, Moscow, Russia
v.f.tishkin@mail.ru, ladonkina@imamod.ru

Godunov method [1] is extremely popular for numerical solving of hydrodynamic problems. Even nowadays it stays the most robust method. It is well known that in 1D case this method can be treated as a sequential projection of initial data on partially constant functions, solving of Riemann problem with partially constant initial data on edges of cells and then utilization of the solution as an initial data for $t+\Delta t$ moment. This way we will have the first order accurate solution. The generalization of this algorithm was proposed in [2,3]. In this case the projection is made on partially polynomial functions, so that formulas are identical to discontinuous Galerkin schemes, if you are using Godunov fluxes in it.

In multidimensional case the situation is rather different. The problem on the nodes and the edges of the cells becomes much more difficult. Exact solution for this problem now doesn't exist. However since the velocity of the disturbance for hyperbolic problems is finite, the area of influence for such data near the edges and the nodes doesn't exceed $c\Delta t$ where c is the highest possible velocity of the disturbance. In this paper, using the results [4-6], is shown that the scheme, made by projecting the solution on partially polynomial functions and rushing Δt to 0, becomes a system of differential equations, which is identical to the discontinuous Galerkin scheme in multidimensional case.

References:

1. S. K. Godunov, "A difference method for numerical calculation of discontinuous solutions of the equations of hydrodynamics", *Mat. Sb. (N.S.)*, 47(89):3 271–306, (1959)
2. M.E. Ladonkina, V.F.Tishkin. "On Godunov-type methods of high order of accuracy", *Doklady Mathematics*, V.91, № 2, p.189-192, (2015)
3. M.E. Ladonkina, V.F. Tishkin. "Godunov Method: a Generalization Using Piecewise Polynomial Approximations ", *Differential Equations*, v.51, № 7, s.895-903, (2015)
4. I. S. Menshov, "Increasing the order of approximation of Godunov's scheme using solutions of the generalized Riemann problem", *Zh. Vychisl. Mat. Mat. Fiz.*, 30:9, 1357–1371, (1990)
5. V.M. Teshukov, "Riemann problem on a curved surface", *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, №2, p.126-133, (1980)
6. V. F. Tishkin, V. T. Zhukov, E. E. Myshetskaya "On justification of the Godunov scheme in multidimensional case", *Mathematical Models and Computer Simulations*, 8:5 (2016)

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРАХ

А.О. Гусев¹, О.В. Щерица², О.С. Мажорова²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана
²ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Численное исследование процессов кристаллизации многокомпонентных растворов приводит к решению термодиффузионной задачи Стефана, в которой температура фазового перехода зависит от состава кристаллизующегося вещества. Кроме того, особенностью данного класса задач является наличие внутренних подвижных границ, положение которых определяется в ходе решения задачи.

В работе представлена самосогласованная модель квазиравновесного процесса кристаллизации тройного соединения в длинной цилиндрической ампуле. Основу модели составляют уравнения теплопроводности и диффузии. На границе раствор-кристалл выполнены условия баланса тепла, массы и фазовая диаграмма системы. Учет диффузии в твердой фазе позволяет исследовать рост и растворение монокристаллического слоя. Предположение о том, что фронт кристаллизации является плоским, позволяет записать задачу для новых переменных – средней в сечении температура и концентрации. В итоге свести изначально трехмерную задачу к одномерной [1]. Для решения одномерной нестационарной задачи кристаллизации использовался чисто неявный совместный алгоритм [2]. Учет движения фронта кристаллизации осуществлялся с помощью замены переменных типа Ландау, в результате которой граница раздела фаз остается неподвижной на протяжении всего процесса. Чисто неявная разностная схема строилась в новой системе координат на неподвижной сетке с помощью интегро-интерполяционного метода. Соответствующая система нелинейных сеточных уравнений решается методом Ньютона относительно вектора неизвестных, компонентами которого являются все искомые концентрации в жидкой и твердой фазе, температура в системе и скорость движения фронта кристаллизации.

Предложенный метод применялся для численного исследования процессов роста и растворения соединений $Cd_xHg_{1-x}Te$. Целью моделирования является изучение влияния диффузионного массопереноса, выделения или поглощения тепла на границе раздела фаз на формирование состава кристалла.

Литература:

1. О.И. Бакирова, «Численное моделирование процессов зонной плавки на основе решения задачи о фазовом переходе в бинарной системе», в сб. Математическое моделирование. Получение монокристаллов и полупроводниковых структур. Под ред. А.А. Самарского, Ю.П. Попова, О.С. Мажоровой, Москва: Наука, с. 142-158, (1986).
2. О.С. Мажорова, Ю.П. Попов, О.В. Щерица, «Консервативные разностные схемы для термодиффузионной задачи Стефана», Дифференциальные уравнения, т. 49, № 7, с. 897-905, (2013), \bibitem{Bakirova}.

MULTIGRID METHOD FOR DIFFUSION EQUATIONS BASED ON ADAPTIVE SMOOTHING

O. B. Feodoritova¹, N. D. Novikova¹ and V. T. Zhukov¹

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

E-mail: feodor@kiam.ru, nn@kiam.ru, zhukov@kiam.ru

We present some results of development of multigrid method for solving three-dimensional diffusion equations with anisotropic discontinuous coefficients. For discretization on each grid level it is used a convenient seven-point stencil on a Cartesian grid. In the main features the proposed algorithm represents an efficient parallel implementation of the geometrical multigrid method. A detailed presentation of the multigrid algorithm, which is a version of Fedorenko's method [1], can be found in [2–4].

The algorithm is intended for solving the stationary diffusion equations and it is able to solve the first, second and third boundary value problems including semi-definite Neumann problem. Scalability to a large number of processors is based on the use of the Chebyshev's iterations for solution of the coarsest grid equations and for construction of the smoothing procedures.

Two smoothing operators are considered here; see [2–4]. The first one is the Chebyshev polynomial, while the second operator is a rational function of the discrete operator. Presently special attention focuses on polynomial smoothers due to their high efficiency in parallel computing. In addition it is possible to provide desired damping on a preset interval of high-frequency components by using a sufficiently large degree in the polynomial smoothing operators. Note for equations with discontinuous coefficients we use so called problem-dependent intergrid transfer operators. We developed a special procedure to adjust smoothers for achieving the prescribed rate of multigrid convergence and present examples, which show that proposed adaptation improves the efficiency of the multigrid method even in the presence of a strong anisotropy in the problem.

The need for efficient solutions of such problems is caused by their prevalence in mathematical models. Increased interest in this problem is motivated by the development of parallel computations: codes for supercomputers with a large number of processors are required. The developed code ensures scalable simulation on grids with billion (and more) nodes.

Acknowledgement: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project № 14–21–0025.

References

1. R.P. Fedorenko, "A relaxation method for solving elliptic difference equations," *Comput. Math. Math. Phys.* **1** (4), 1092–1096 (1962).
2. V.T. Zhukov, N.D. Novikova, O.B. Feodoritova, "Multigrid method for elliptic equations with anisotropic discontinuous coefficients," *Comput. Math. Math. Phys.* **55** (7), 1150–1163 (2015).
3. V.T. Zhukov, N.D. Novikova, O.B. Feodoritova, "On the Solution of Evolution Equations Based on Multigrid and Explicit Iterative Methods," *Comput. Math. Math. Phys.* **55** (8), 1276–1289 (2015).
4. V.T. Zhukov, N.D. Novikova, O.B. Feodoritova, "Multigrid method for anisotropic diffusion equations based on adaptive Chebyshev smoothers", *Math. Models and Computer Simulations*, **7**(2), 117–127 (2015)

**ГРАНИЧНЫЕ СВОЙСТВА АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВДОЛЬ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТОЧЕК ЕДИНИЧНОГО ДИСКА**

Жарко Павичевич¹

¹*Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro,
Dzordza Vasingtona b.b., 81000 Podgorica, Montenegro
e-mail: zarkop@ac.me*

В докладе показывается граничное поведение аналитических функций вдоль последовательности точек единичного диска, сходящихся к точке на границе диска. Полученные результаты дают обобщение теоремы Линделёф-Лхто-Виртанен и Бегемил-Зайделя

Литература:

1. V. I. Gavrilov, «On the distribution of values of functions meromorphic in the unit disk which are not normal», Math. Sbor. № 67, pp. 408–427, (1965).
2. G. D. Lovshina, «On meromorphic functions normal and hypernormal with respect to a subgroup of the unit disk», Dokl. Akad. Nauk SSSR, V. 252, pp. 438–440, (1980).
3. Ž. Pavićević, «Meromorphic functions generating normal families in arbitrary open subset of the unit disk», New Zealand J. Math. V. 28, pp. 89–106, (1999).
4. Ž. Pavićević, «Normality and curvilinear limits of meromorphic functions and their applications», Moscow University Math. Bull. V. 66 (4), pp. 171–172, (2011).
5. E. F. Collingwood and A. J. Lohwater, «The Theory of Cluster Sets», Cambridge University Press.
6. P. Devyatkov, «Limit sets and boundary properties of removable singularities of sequences of functions», Dissertation, Tyumen, (2008).
7. Ž. Pavićević and J. Šušić, «An application of cycles properties of dynamical systems to the investigations of boundary limits of arbitrary functions», Dokl. Ross. Akad. Nauk, V. 387, pp. 16–18, (2002).
8. O. Lehto and K. I. Virtanen, «Boundary behaviour and normal meromorphic functions», Acta Math. V. 97 pp. 47–65, (1957).
9. F. Bagemihl and W. Seidel, «Sequential and continuous limits of meromorphic functions», Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A I 280, pp. 1–17, (1960).
10. Zarko Pavicevic, «On Angular Limits of Normal Meromorphic Functions: A Geometric Aspect», Journal of Complex Analysis, V. 2014, Article ID 216398, 6 pages, (2014).

SIMULATION OF THE DYNAMICS OF HYDROGEN ATOM IN THE CAVITY WITH THIRD TYPE BOUNDARY CONDITION

A.V. Tolokonnikov¹, K. A. Sveshnikov²

¹*Department of Quantum Theory and High Energy Physics, Faculty of Physics,
M.V.Lomonosov Moscow State University,
Moscow 119991, Russia.*

²*N.N.Bogoliubov Institute for Theoretical Problems of Microphysics, M.V.Lomonosov Moscow State
University,
Moscow 119899, Russia.
tolokonnikov@physics.msu.ru*

The properties of the ground state of the hydrogen atom confined in a vacuum spherical cavity with third type boundary condition

$$\left(\frac{\partial}{\partial r} + \lambda \right) \Psi \Big|_{\partial\Omega} = 0, \quad \lambda = \text{const}$$

for the electron wave function Ψ are studied by numerical simulation.

From the results of computational experiments follow that in the adiabatic approximation depending on the parameters of the cavity R and λ , atom could be in stable equilibrium at the center of the cavity or shifts towards its periphery, i.e. there is a spontaneous breaking of spherical symmetry. If the shift exists, an increasing size of the cavity will cause the tendency of the binding energy of the atom and the distance between it and the boundary to the limiting values determined by the task of an atom over the plane with third type boundary condition. To achieve the required accuracy in certain ranges of values of the cavity parameters arbitrary-precision arithmetic was used. Also on the basis of calculations with cutoff parameter for the angular momentum varying in the range 28-40, the special smooth extrapolating function was selected that allows take into account the contributions of the angular momenta up to 1000 properly.

SPECTRAL MOMENTUM METHOD IN COLLISIONAL-RADIATIVE MODELING OF PLASMAS

Shilkov Alexander Victorovich

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences
Miusskaya sq.4, Moscow, 125047, Russia
ale-shilkov@yandex.ru*

The spectrum momentum method, simplifying the calculation of nonmonotonic multiresonance spectra of non-equilibrium collisional-radiative plasmas, is developed. The intensity of radiation is expanded in a series of basic functions that are dependent on the photon energy, dependent on the resonance structure of the cross sections, and provide a fast convergence of the expansion in the range of several harmonics. Efficient way of finding the expansion coefficients – «spectral momentums» - based on the solution of the transport equation for the Lebesgue distribution of photons on the system of Lebesgue sets is described. This equation does not contain numerous resonance lines present in the cross sections of the basic radiation transport equation.

Fast convergence of the expansion is shown in the series of test problems.

**THE INTERFERENCE OF ELECTRIC AND HYDRODYNAMIC EFFECTS
DURING ELECTRON BEAM INTERACTION WITH SOLID-STATE BARRIER**

Berezin A. V., Voronin F. N., Gasilov V. A., Markov M. B., Zhukovskiy M. E.

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Miusskaya sq. 4, Moscow, 125047, Russia
e-mail: raveaprouch@mail.ru*

High-energy electrons beam propagate in a vacuum and interacts with a solid-state barrier. The barrier fracture and electromagnetic field generation accompanies such interaction. Mathematical model of the phenomena includes high-energy electrons transport equation. Collision's integral takes into account processes of elastic scattering, impact ionization, bremsstrahlung and medium excitation [1]. We apply Monte Carlo method to compute particle propagation [2, 3]. Current of high-energy electrons generates electromagnetic field, energy release results in melting and deformation of a solid-state barrier. Finite-difference scheme for Maxwell equations is used to compute electromagnetic field [4]. The dynamics of solid-state barrier under influence of electrons flux is modeled by equations of two-temperature fluid dynamics [5]. We consider the influence of fluid dynamics effects on scattering medium properties. It is assumed that electrodynamic and thermomechanical properties of barrier materials change insignificantly during particle life time. The key feature is a direct account of cross-coupling of electromagnetic field and dynamics of solid-state barrier. Finite-difference scheme for Maxwell equations contains convective current density caused by the motion of ionized substance. The Lorentz force is taken into account in equations of fluid dynamics, and the entire system of equations describing the electromagnetic field and substance is conservative. Preliminary results of numerical methods development and testing are presented.

References:

1. N. Mott, H. S. W. Massey, "The theory of atomic collisions", IIL, Moscow, (1949)
2. A. Andrianov, A. Berezin, A. Vorontsov, K. Efimkin, V. Zinchenko, M. Markov, "The radiational electromagnetic fields modeling at the multiprocessor computing systems", *Mahtemactical Modeling*, 20(3), 98-114 (2008)
3. M. Zhukovskiy, R. Uskov, "Modeling of interaction between gamma rays and matter on hybrid computers", *Mahtemactical Modeling*, 23(7), 20-32 (2011)
4. A. Berezin, A. Krukov, B. Plyushchenkov, "The method of electromagnetic field with the given wavefront calculation", *Mahtemactical Modeling*, 23(3), 109-126 (2011)
5. V. Gasilov, et al. "Towards an Application of High-Performance Computer Systems to 3D Simulations of High Energy Density Plasmas in Z-Pinches, Applications, Tools and Techniques on the Road to Exascale Computing". IOS Press: *Advances in Parallel Computing*, Vol. 22, pp. 235-242 (2012)

SURFACE-ENHANCED INFRARED ABSORPTION ON DIFFRACTION MICROGRATING IN THIN SILVER FILM

Trang T.H. Nguyen^{1,4}, Sergey I. Kudryashov^{1,2,3}, Pavel A. Danilov¹, Andrey A. Ionin¹,
Roman A. Khmel'nitskii¹, Andrey A. Rudenko¹, Irina N. Saraeva¹, Dmitry A. Zayarny¹.

¹ Lebedev Physical Institute, Leninskiy prospect 53, 119991 Moscow

² National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Kashirskoe
shosse 31, 115409 Moscow

³ ITMO University, Kronverkskiy prospect 49, 197101 St. Peterburg

⁴ Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy Pereulok, 141701 Dolgoprudny, Moscow
Region

Tel.: +7 (967)-132- 8339, email: Trang.nguyenthihuyen@htu.edu.vn

We used the radiation of the fundamental harmonic of the Nd:YAG – laser $\lambda = 1030$ nm. It was doubled in frequency with the yield of ultrashort laser pulses of the second harmonic at a wavelength of 515 nm with an FWHM of about 200 fs. Laser radiation was focused on the surface of the sample in air through the objective of a microscope with the numerical aperture NA= 0.25. Holes with the diameter $d \approx 4 \mu\text{m}$ and period $p \approx 5 \mu\text{m}$ in the Ag films with thickness $h \approx 50$ nm are fabricated. Comparison of the mid-IR absorbance for the sensor and CaF₂-supported R6G molecules demonstrates the analytical SEIRA the strongest enhancement 209 times for the mid-IR spectral bands at 1261 cm^{-1} (Fig. 1).

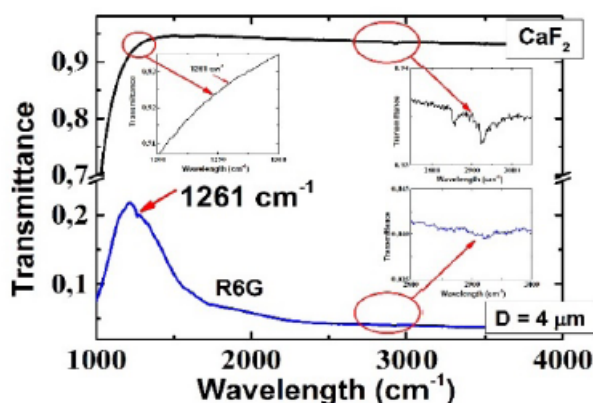


Figure 1. IR transmission spectra of the CaF₂ substrate with the R6G monolayer (black curve), and the microarray of holes in the thin Ag film with thickness $h \approx 50$ (blue curve). The red arrows point to the SEIRA-enhanced R6G absorption bands in the mid-IR range.

References

1. D. A. Zayarny, A. A. Ionin, I. V. Kiseleva, S. I. Kudryashov, S. V. Makarov, A. A. Rudenko, I. A. Timkin, R. A. Khmel'nitskii, and T. T. H. Nguyen, "Surface Enhanced Infrared Absorption of a Dye on a Metallic Diffraction Grating" JETP Letters, Vol. 100, No. 5, pp. 295–298, (2014).
2. Pavel N Danilov, Sergey A Gonchukov, Andrey A Ionin, Roman A Khmel'nitskii, Sergey I Kudryashov, Trang T H Nguyen, Andrey A Rudenko, Irina N Saraeva and Dmitry A Zayarny, "Background-free, highly sensitive surface-enhanced IR absorption of rhodamine 6G molecules deposited onto an array of microholes in thin silver film" Laser Physics Letters, 13(5):055602 (2016).

**МОДИФИКАЦИЯ В РАМКАХ СТАТИСТИКИ ТСАЛЛИСА КРИТЕРИЕВ
ГРАВИТАЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ДИСКОВ С
ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА**

А.В. Колесниченко

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
e-mail: kolesn@keldysh.ru, web page: <http://keldysh.ru/kolesnichenko/person.htm>

По-видимому, прогресс в объяснении известной изошрённости фактической реализации общепринятого сценария образования планет в системе солнечно-подобного диска может быть достигнут на пути расширения арсенала теоретических подходов к моделированию различных проблем космогонии, в частности, эволюции астрофизических дисков. В работе рассмотрен один из таких подходов, связанный с адекватным моделированием сильного гравитационного взаимодействия между отдельными частями дисковой среды, которое проявляется специфическим образом в результате длительного процесса эволюции. Как теперь стало понятно, астрофизические диски относятся в общем случае к числу, так называемых, сложных систем, признаком которых является несводимость всей системы к простой сумме её частей. Именно сильное гравитационное взаимодействие является причиной термодинамической неаддитивности дисковой среды, когда, например, её энтропия не является аддитивной величиной. Статистической теорией сложных систем является активно развиваемая в последнее время неаддитивная статистика (термодинамика) Тсаллиса, предназначенная для описания поведения аномальных систем – систем с сильным силовым взаимодействием и сильными корреляциями отдельных её частей, а также фрактальным характером фазового пространства.

В работе, в отличие от ряда классических исследований, в которых критерии гравитационной неустойчивости астрофизических дисков выводятся в рамках традиционной кинетики или гидродинамики, предлагается рассматривать совокупность рыхлых газо-пылевых кластеров аккреционного протопланетного диска, как особый тип сплошной среды – фрактальной среды, в фазовом пространстве скоростей которой существуют точки и области, не заполненные её составляющими. В рамках формализма неаддитивной статистики Тсаллиса, предназначенной для описания систем с сильным гравитационным взаимодействием отдельных её частей и фрактальным характером фазового пространства, на основе выведенных ранее¹ модифицированных гидродинамических уравнений Навье-Стокса (так называемых уравнений q -гидродинамики) получены при учёте диссипативных эффектов линеаризованные уравнения колебаний твёрдотельно вращающегося диска и дан вывод дисперсионного уравнения в ВКБ-приближении. Проведен анализ осесимметричных колебаний астрофизического дифференциально вращающегося газопылевого космического объекта и получены модифицированные критерии гравитационной неустойчивости Джинса и Тумре для дисков с фрактальной структурой фазового пространства.

Литература:

1. A. Kolesnichenko, B. Chetverushkin, “Kinetic derivation of a quasi-hydrodynamic system of equations on the base of nonextensive statistics”. RJNAMM (Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling). Vol. 28(6), pp.547-576 (2013).

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛЕ ОНДУЛЯТОРА

М. А. Галченкова¹, Н. В. Смоляков^{1,2}

¹ МФТИ (ГУ), galchenkova.mari@gmail.com

² НИЦ Курчатовский Институт, smolyakovnv@mail.ru

В данной работе рассмотрено движение релятивистских электронов в трехмерном магнитном поле ондулятора. В уравнениях движения электрона в поле ондулятора учитывались все три компоненты поля, удовлетворяющего стационарным уравнениям Максвелла:

$$\vec{B}(x, y, z) = (B_0/k_y) \vec{V}(\cos(x/a) \sinh(k_y y) \sin(2\pi z/\lambda_u)) \quad (1),$$

Где $k_y = \sqrt{1/a^2 + 4\pi^2/\lambda_u^2}$, λ_u - длина периода ондулятора.

Мы использовали точные уравнения для траекторий электрона [1]:

$$x'' = -q\sqrt{1+(x')^2+(y')^2} \{ (1+(x')^2)B_y - y'B_z - x'y'B_x \}, \quad (2)$$

$$y'' = q\sqrt{1+(x')^2+(y')^2} \{ (1+(y')^2)B_x - x'B_z - x'y'B_y \}, \quad (3)$$

где $q = e/(mc^2\beta\gamma)$, β и γ - приведенные скорость и энергия частицы. Дифференциальные уравнения (2) - (3) решались аналитически с помощью теории возмущений, а не методом усреднения по быстрым осцилляциям электрона [2-4]. Сравнение полученных аналитических выражений с результатами численных расчетов траекторий электрона в магнитном поле (1) - (3) показывает их хорошую точность.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки, соглашение № 14.587.21.0001, уникальный идентификатор научных исследований RFMEFI58714X0001.

Литература:

1. Steffen K., Proc. CAS CERN Accelerator School 90-03, p. 1 (1989).
2. Barkov L. M. et al., Nucl. Instr. and Methods, Vol.152, p. 23 (1978).
3. Scharlemann E. T., J. Appl. Phys., Vol. 58 (6), p. 2154 (1985).
4. Smolyakov N.V., Nucl. Instr. and Methods, Vol. A 308, p. 83 (1991).

**ДИНАМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ СЕТКИ К ГРАНИЦЕ
ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА, ЗАДАННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ПОГРУЖЕННЫХ ГРАНИЦ, НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЗЛОВ**

П.А.Бахвалов¹, О.А. Доронина²

¹*Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН*

²*Московский физико-технический институт (Государственный университет)*

Задача динамической адаптации сетки при моделировании течений вокруг подвижных объектов представляет собой большой интерес, так как дает возможность снизить объем вычислений при улучшении точности расчёта. Описание геометрии твердого тела с использованием погруженных граничных условий позволяет использовать адаптацию сетки при помощи перераспределения узлов. Такой подход не меняет сеточную топологию, что является исключительно важным для параллельной реализации.

В работе рассматривается двумерная постановка для треугольных неструктурированных сеток. Тестирование разработанных алгоритмов проводится на модельных задачах с аналитически заданной геометрией твердого тела и наперед заданным законом его движения.

Используемые алгоритмы реализованы в рамках программного комплекса NOISEtte (ИПМ РАН).

**ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ EUV-
ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ**

Цыгвинцев И.П.

ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, Москва, Миусская пл.4, 4

IliaTsygvintsev@gmail.com

В докладе обсуждается проблема создания источника излучения в диапазоне 13.5 нм (EUV-диапазоне) на основе лазерной плазмы олова, в частности, использование трёхмерных программ для оптимизации производительности и стабильности работы установки.

Построена трёхмерная модель, описывающая основные процессы в лазерной плазме олова. Сформулированы численные методики, разрешающие уравнения данной модели, и параллельные алгоритмы реализованные в коде 3DLINE.

Приводятся результаты исследования влияния смещения лазерного пучка относительно капли. Показано, что даже относительно малое смещение, практически не влияющее на выход излучения, может кардинальным образом изменить угловое распределение потоков вещества. Это может привести к образованию вихрей в камере установки и уменьшению сроков бесперебойной работы вследствие загрязнения зеркала.

POLYMER DESTRUCTION MODELING UNDER ACTION OF INTENSIVE ENERGY DEPOSITION

D.S. Boykov^{1,2}, O.G. Olkhovskaya¹, V.A. Gasilov^{1,2}

¹ *Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Ac. Sci.) 125047 4, Miusskaya sq., Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute) 115409, Russia, Moscow, Kashirskoe highway, 31*

We discuss a multiparametric numerical study of polymer destruction and behavior of appropriate non-linear waves during intensive impact on a polymer surface. Numerical experiments done by our team concerns with a verification of volume fracture models, and for validation of wide-range equations of state.

The destruction may be a result of an impact of intensive energy flows or mechanical strike. Appropriate modeling of this complex multiphysics problem should be based on high resolution numerical methods as well as on high performance computing.

The developed software is validated using experimental data and can be used for numerical stress-strain analysis of various structural units loaded by strong transient forces or energy fluxes.

UTILIZATION OF AVERAGING METHOD TO SMOOTH SOLUTIONS IN DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD

Ladonkina M.E. , Neklyudova O.A. , Tishkin V.F.

Keldysh Institute of Applied Mathematics, Miusskaya sq., 4, Moscow, Russia
v.f.tishkin@mail.ru, ladonkina@imamod.ru, nek_olga@mail.ru

DG is widely used to solve various problems of gas dynamics. This method has discontinuous basic functions and is characterized by high order accuracy of the solution. As is well known, it is necessary to use so called limiters to guarantee the monotony of the solution, especially if the result has disruptions. However, limiters can negatively affect the accuracy of the solution [1]. Therefore the problem of keeping the high order of the solution and providing it's monotony is of current importance. To solve this problem the usage of smoothing operator is proposed instead of limiting [2, 3]. However, smoothing operator based on WENO reconstruction [3] doesn't provide the high order of the solution for DG method. In this paper the different smoothing operator is proposed. Theoretically it doesn't demote the order of method.

References:

1. M.E. Ladonkina, O.A.Neklyudova, V.F. Tishkin, “Impact of different limiting functions on the order of solution obtained by RKDG”, *Mathematical Models and Computer Simulations*, 5(4), 346–349 (2013).
2. M.E. Ladonkina, O.A.Neklyudova, V.F. Tishkin, “Application of the RKDG method for gas dynamics problems”, *Mathematical Models and Computer Simulations*, 6(4), 397–407 (2014).
3. XinghuiZhong, Chi-Wang Shu, “A simple weighted essentially nonoscillatory limiter for Runge-Kutta discontinuous Galerkin methods”, *Journal of Computational Physics*, V.232, 397-415 (2013).

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ТРАФИКА НА СЕТИ

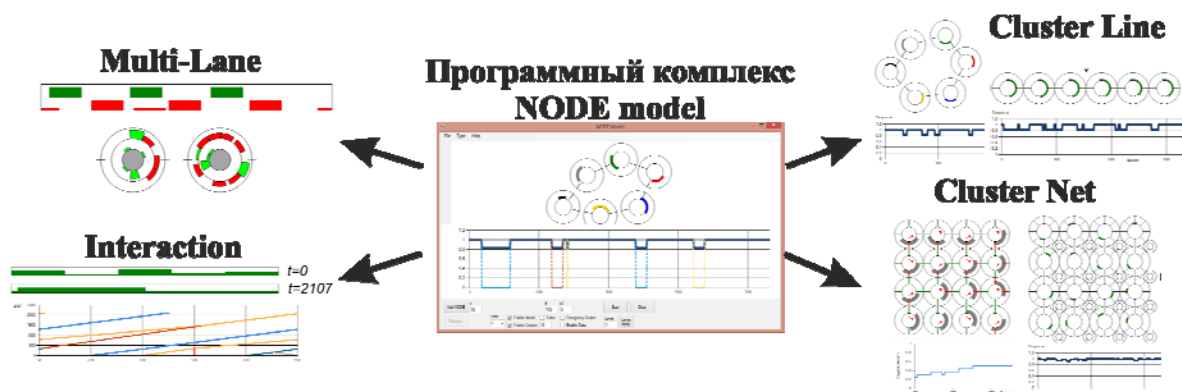
Струсинский П.М.¹

¹Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический Университет (МАДИ),
Москва, Ленинградский пр-т., 64.
perssot@gmail.com

Рассматривается поток кластеров на сети из многоканальных контуров с общими узлами [1,2]. Кластеры представляют собой множества частиц с одинаковой плотностью, постоянной скоростью, зависящей от плотности и взаимодействующими между собой по определенным правилам.

Создано программное обеспечение, которое позволяет исследовать поведение системы, в частности, вычислить среднюю скорость, обнаружить полный или частичный коллапс, а также самонастройку системы – синергию, процесс выхода системы на максимальный режим скорости независимо от начального расположения.

Алгебраическая компонента модели сводится к системе простейших обыкновенных дифференциальных уравнений с переменной архитектурой, зависящей от фазовых ограничений. Компьютерная компонента – это реализация параллельных взаимодействующих процессов, определение числовых и качественных характеристик, визуализация. Компьютерный анализ дополняет некоторые теоретические результаты, [3] и имеет перспективу практических приложений в малоразработанной к настоящему времени теории поведения систем на сложных сетях.



Автор выражает благодарность д.ф.-м.н., профессору Буслаеву А.П. за помощь в постановке задачи и обсуждении результатов.

Литература:

1. A.S. Bugaev, A.P. Buslaev, V.V. Kozlov, M.V. Yashina, «Distributed problems of monitoring and modern approaches to traffic modeling», 14th International IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC-2011), Washington, USA, pp 477-481, (2011).
2. A.P. Buslaev, P.M. Strusinskiy, «Computer simulation analysis of cluster model of totally-connected flows on the chain mail», New results in dependability and computer systems, Springer, 8th DepCoS-RELCOMEX 2013, pp 63-71, (2013).
3. А.С. Бугаев, А.П. Буслаев, В.В. Козлов, А.Г. Таташев, М.В. Яшина. «Обобщенная транспортно-логистическая модель как класс динамических систем», Математическое моделирование, № 12, (2015).

SIMULATION OF MULTILANE VEHICULAR TRAFFIC ON THE BASIS OF CELLULAR AUTOMATA THEORY

Chechina A.A., Churbanova N.G., Trapeznikova M.A.

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya Square, Moscow

e-mail: chechina.antonina@yandex.ru

The paper deals with developing mathematical model for traffic flow simulation on urban road networks. The presented model refers to microscopic approach, i. e. each car is considered separately and is described by its own set of parameters.

The model is based on the cellular automata theory and presents generalization of Nagel-Schreckenberg model [1] to the multilane case [2]. The computational domain is the 2D lattice where two directions correspond to the road length and width. The number of cells in the transverse direction corresponds to the number of lanes. Each cell of the lattice can be either empty or occupied by one vehicle. This approach allows vehicles to change lanes and to overtake one another. The algorithm of cell state update is formed by two components: lane change (if it is necessary and possible), movement along the road by the rules of N-S model.

Parallelization is based on the domain decomposition (data partitioning) technique and message passing between nodes of the cluster. Each node can process either calculation of certain road fragment (crossroad of any kind or straight part of the road), or some combination of neighboring road fragments.

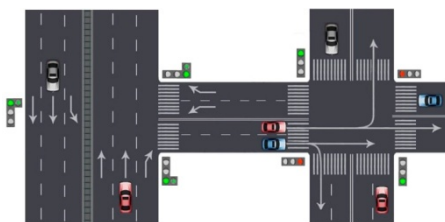


Fig.1 — Typical road fragment with crossroads.

Parallel implementation provides the description of vehicle behavior in details and the real time forecast of big city traffic states.

The program package includes:

- user interface module, that allows to set road length, number of lanes, traffic lights regime, entering flows and other parameters of computation and some global parameters of the model;
- results visualization module, that provides the opportunity to see cars movement during the calculation.

Acknowledgements: The work is supported by RFBR projects № 16-31-00087, 16-01-00347.

References:

1. K. Nagel, M. Schreckenberg, A Cellular, «Automation Model for Freeway Traffic». J. Phys. I France, Vol.2, p. 2221 (1992)
2. Antonina Chechina, Natalia Churbanova and Marina Trapeznikova, «Different Approaches to the Multilane Traffic Simulation», Traffic and Granular Flow V. 13, M. Chraibi et al. (Eds.), Springer, pp. 361-368 (2015).

АЛГЕБРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ДРОБЕЙ И ВЕЩЕСТВЕННОЗНАЧНЫЕ МАЯТНИКИ

Д.А. Кучелев

Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ)
 e-mail: qlvd@yandex.ru

Рассматривается мультимааятник [1, 2] – полная сеть из N вершин и M частиц. Каждая частица в дискретные моменты времени находится в одной из вершин. Планы движения частиц задаются последовательностью номеров вершин, являющейся позиционной формой по основанию N вещественного числа из интервала $[0; 1)$. Планы, задаваемые полем рациональных чисел разбиваются на подалгебры, порождаемые обобщённым преобразованием Бернулли.

При совместном движении частиц возможно возникновение конфликтов встречного движения при попытке движения по одному ребру одновременно в разных направлениях. В этом случае конфликт разрешается по определённому правилу, обеспечивая перемещения только в одном направлении. Таким образом, при наличии конфликтов скорость реализации планов движения частиц (скорость движения) снижается.

Компьютерная реализация позволяет подтвердить некоторые теоретические результаты [1, 2], визуализировать процессы, происходящие в системе и искать новые зависимости. Вычисляются характеристики системы, такие как средняя скорость движения и другие.

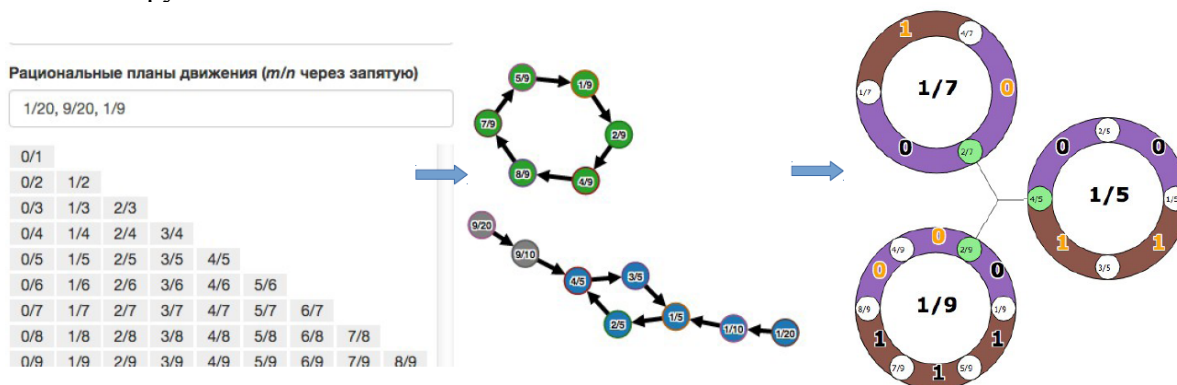


Рис. 1. Результаты вычислений.

Автор выражает благодарность д.ф.-м.н., профессору Буслаеву А.П. за помощь в постановке задачи и обсуждении результатов.

Литература:

1. V.V. Kozlov, A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, «On real-valued oscillations of a bpendulum», Applied Mathematics Letters, vol. 46, pp. 44 - 49 (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.aml.2015.02.003>
2. A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, «Generalized real numbers pendulums and transport logistic applications». New Developments in Pure and Applied Mathematics. New Developments in Pure and Applied Mathematics, pp. 388 - 392. Vienna, (2015).
www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-63.pdf

DYNAMICS OF GAS IN ELECTRON BEAM

Inozemtseva K.K., Lutsky A.E., Markov M.B.
*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Miusskaya sq. 4, Moscow, 125047, Russia
e-mail: inozem.k0@gmail.com*

The report presents a mathematical model of the relativistic electron beam propagation in a linear accelerator's testing volume. We consider relativistic electrons transport in a gas, that transfers in a weakly ionized medium under the radiation influence. All substantial collisions of electrons with gas neutral molecules are taken into account: elastic scattering, impact ionization, bremsstrahlung and excitation. Secondary electrons appear in continuous spectrum due to impact ionization of gas by primary beam electrons. They are proposed to achieve an equilibrium with a gas instantly. An electron beam generates self-consistent electromagnetic field, affecting its propagation. Energy releases into the medium as a result of electron scattering. Nonuniform gas heating changes thermodynamical and, therefore, scattering properties of gas. The model includes hydrodynamics equations, describing dynamics of heated gas. It allows to take into account changes in gas properties. Energy distribution obtained on the first stage of calculation is used as a source for hydrodynamics equations. Gas is considered to be a perfect fluid. The paper presents the results of verification tests and a comparison of the obtained data with theoretical evaluation. Also it contains descriptions of numerical experiments and investigation of gas disturbance behavior under the influence of electron beam propagation.

Acknowledgements: The reported study was partially supported by RFBR, research project No. 14-01-00350.

References:

1. A. Andrianov A., A. Berezin, A., A. Vorontsov, K. Efimkin, V. Zinchenko, M. Markov, A. Chlenov "Modeling the electron beam from the accelerator LIA-10 on the multiprocessor computer system", *Mathematical Modeling*, 22(2), 29-44 (2010)
2. N. Mott, H. S. W. Massey, "The theory of atomic collisions", IIL, Moscow, (1949)
3. A. Andrianov, A. Berezin, A. Vorontsov, K. Efimkin, V. Zinchenko, M. Markov, "The radiational electromagnetic fields modeling at the multiprocessor computing systems", *Mahtematical Modeling*, 20(3), 98-114 (2008)
4. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, "Fluid Mechanics", 2nd edition, Nauka, Moscow, (1988)
5. M. Markov, "The approximation of homogeneous electron's scattering on trajectories", *Matematical Modeling*, 21(10), 85-93, (2009)
6. M. B. Markov, S. V. Parot'kin, and A. V. Sysenko, "Particle Method for a Model of an Electromagnetic Field of an Electron Flux in a Gas," *Mat. Model.* 20(5), 35-54, (2008)

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ: УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ПРОТИВ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А. С. Болдарев, В. А. Бахтин, М. Н. Притула, Д. А. Захаров
Институт Прикладной Математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва
boldar@imamod.ru, bakhtin@keldysh.ru, PritMick@yandex.ru, s123-93@mail.ru

Разработка программного обеспечения для решения задач математической физики долгое время проводилась при неявном предположении о некоторой идеальной «классической» вычислительной системе, в которой вычислительная стоимость каждой операции выражалась некоторым постоянным числом, не зависящим от расположения операндов в памяти и предыстории этой операции. Хотя уже, по крайней мере, в 90-е годы эта гипотеза не была вполне справедлива (cache-память различного уровня, динамическое выполнение), все же она принималась фактически, так как позволяла оценить трудоемкость того или иного алгоритма самого по себе. Между тем, при использовании современных вычислительных систем особенности их конкретной архитектуры (от которых, вообще говоря, хотелось бы абстрагироваться) могут приводить к крайне неэффективному использованию вычислительных мощностей, если их игнорировать.

В данной работе рассматриваются результаты низкоуровневой оптимизации одного кода, который был в свое время написан (и разумно оптимизирован) исходя из «классических» представлений о вычислительной системе. Будучи ориентированным на решение по явной схеме систем гиперболических уравнений (в основном, газовой динамики) в двумерных областях сложной формы с использованием неструктурированных сеток, этот код был написан на C++ с очень широким использованием объектно-ориентированного подхода для обеспечения максимальной универсальности и простоты дальнейшего развития. Явный солвер гиперболических систем общего вида был параметризован по физическому наполнению и способу вычисления потоков, а реализация граничных условий и уравнений состояния различного вида осуществлялась через иерархии классов с порожденными функциями. С целью минимизации количества одновременно хранимых вспомогательных величин был использован «фронтальный», или «волновой», алгоритм прохода элементов сетки для вычисления значений на очередном временном слое.

В ходе данного исследования был выполнен комплекс преобразований программы, включая: отказ от фронтального алгоритма обхода сетки в пользу однородного обхода всей сетки в произвольном порядке (нет зависимостей и практически нет операторов ветвления); предварительное вычисление «структурных» величин (списки смежности сеточных элементов и т.п.); исключение тяжелых операций (динамическое выделение памяти, создание или удаление множеств и других структур данных) в вычислительно-емких циклах; использование обычных массивов для хранения всех величин; переход от массивов структур к массивам отдельных величин; развиртуализацию вызовов.

Эти преобразования привели: к многократному (25 раз) ускорению исходной последовательной программы; возможности тривиального распараллеливания ее в модели OpenMP; возможности беспрепятственного портирования на ГПУ (в модели DVMH получено ускорение около 450 раз относительно исходной версии на 1 ГПУ); перспективе распараллеливания на кластер с ГПУ в расширенной модели DVMH.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИБЛИОТЕКИ SPARSELINSOL ДЛЯ РЕШЕНИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Б.И. Краснопольский¹, А.В. Медведев²

¹НИИ механики МГУ, Мичуринский просп. 1, Москва, Россия

²ЗАО "Т-Сервисы", Ленинский проспект 113/1, Москва, Россия

krasnopolsky@imec.msu.ru

В настоящем докладе обсуждаются особенности реализации разрабатываемой авторами библиотеки *SparseLinSol*, предназначенной для решения систем линейных алгебраических уравнений на распределенных вычислительных системах с многоядерными процессорами и графическими ускорителями. Основной акцент разработки сделан на реализации многосеточных методов как наиболее перспективных алгоритмов для решения больших сильно-разреженных и плохо-обусловленных систем уравнений с ориентиром использования порядка 10^3 узлов для вычислительных систем с многоядерными процессорами и порядка 10^2 узлов для систем с графическими ускорителями. Для обеспечения масштабируемости реализуемых алгоритмов используется гибридная схема программирования MPI+ShM, основанная на использовании примитивов POSIX Shared Memory внутри вычислительного узла, и максимально асинхронный алгоритм комбинации запусков CUDA-ядер и MPI-обменов для алгоритмов, реализованных на графических ускорителях.

Проведено сопоставление производительности и масштабируемости solve-части многосеточных методов решения СЛАУ из библиотеки *SparseLinSol* с рядом аналогичных библиотек численных методов. В сравнении были использованы три тестовых системы уравнений размером 41, 60 и 99 млн. неизвестных, полученных в ходе расчета задачи определения гидродинамических характеристик гребных винтов судна в пакете OpenFOAM. Ускорение solve-части методов решения СЛАУ для библиотеки *SparseLinSol* с графическими ускорителями на 128 узлах суперкомпьютера "Ломоносов" по сравнению со свободно-распространяемой библиотекой *hypr* (для центральных процессоров) с идентичной конфигурацией математических методов достигает 3.7 раза, при параллельной эффективности до 68%. На суперкомпьютере "Ломоносов-2" проведено сравнение эффективности методов solve-части библиотеки *SparseLinSol* и коммерческой библиотеки *AmgX* от NVIDIA (trial, v.1.2.0 build 108). Для максимально близкого набора методов в библиотеках *AmgX* и *SparseLinSol* установлено, что времена выполнения solve-части решения СЛАУ для библиотеки *SparseLinSol* оказываются в 1.5-2 раза меньше. Использование оптимального набора параметров для библиотеки *SparseLinSol*, не имеющего полных аналогов в библиотеке *AmgX*, позволяет достичь 1.8-2.8 кратного ускорения расчета.

Разработан плагин сопряжения для OpenFOAM, позволяющий использовать реализованные методы как альтернативу стандартным методам, реализованным в пакете. Библиотека также может быть использована в "in-house" кодах для задач математического моделирования.

**ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОРОВ
СЕМЕЙСТВА «КОМДИВ»****П. Б. Богданов¹, О. Ю. Сударева²**

¹Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (НИИСИ РАН), 117218, Москва, Нахимовский пр., 36 к.1, bogdanov@niisi.msk.ru

²НИИСИ РАН, Москва, sudareva@niisi.msk.ru

В течение последних десятилетий в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (далее НИИСИ РАН) ведётся разработка отечественной элементной базы для вычислительных комплексов специального назначения. На сегодняшний день решения от НИИСИ РАН в сфере специализированных вычислений типа цифровой обработки сигналов смело конкурируют (а в некоторых задачах существенно превосходят) с решениями мировых производителей, например, таких как семейство микропроцессоров TigerSHARC от Analog Devices, Inc. В докладе представлены результаты проведённых к настоящему моменту исследований о возможности применения разрабатываемого оборудования в вычислениях общего назначения.

Рассматривается вычислительный комплекс на базе разрабатываемой НИИСИ РАН линейки микропроцессоров КОМДИВ (в частности, КОМДИВ128-РИО, со встроенным математическим сопроцессором CP2), а также контроллеров и коммутаторов высокопроизводительной коммуникационной сети RapidIO. Такой комплекс может быть использован для распределённых вычислений: на каждом процессоре вычисления оптимизируются тем или иным способом, а обмены между процессорами осуществляются через программный интерфейс MPI.

В качестве тестовых задач рассматриваются три алгоритма из пакета NAS Parallel Benchmarks [2], а именно: алгоритм многосеточного метода (MG), алгоритм метода сопряжённых градиентов (CG), а также быстрое преобразование Фурье (FT). Для выбранных алгоритмов имеются референсные реализации, на основе которых авторами разработан ряд оптимизированных реализаций для процессоров линейки КОМДИВ.

В докладе приводятся результаты тестирования имеющихся реализаций на доступной аппаратуре: как на существующих микропроцессорах, так и на ПЛИС-прототипе перспективного микропроцессора, разработка которого ведётся в настоящий момент. Кроме того, даются оценки ожидаемой производительности для многопроцессорного комплекса. По итогам проведённой работы делаются выводы о специфике конкретных алгоритмов и узких местах аппаратных решений, которые нуждаются в доработке.

Литература:

1. П.Б. Богданов, О.Ю. Сударева, «Применение отечественных специализированных процессоров семейства КОМДИВ в научных расчётах», Информационные технологии и вычислительные системы, принято в печать (2016)
2. D. Bailey, E. Barszcz et al., «The NAS Parallel Benchmarks», RNR Technical Report RNR-94-007 (March 1994), <https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html>

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АЭРОДИНАМИКИ В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ FLOWMODELLIUM

В.А. Титарев^{1,2}, А.В. Чикиткин², С.В. Утюжников^{3,2}

¹ВЦ ФИЦ ИУ РАН, 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 40

²МФТИ (ГУ), 141700, М.О., г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9

³University of Manchester, M13 9PL, UK, Manchester

e-mail: titarev@ccas.ru, s.utuzhnikov@manchester.ac.uk, alexchikitkin@gmail.com

В лаборатории "Математического моделирования нелинейных процессов в газовых средах" Московского физико-технического института ведется разработка комплекса программ "FlowModellium" [1], предназначенного для численного моделирования внешних высокоскоростных течений сжимаемого газа с учетом неравновесных химических реакций.

Отличительными особенностями аэродинамического решателя FlowModellium являются поддержка использования блочно-структурированных и гибридных неструктурированных сеток, применение экономичной неявной схемы высокого порядка аппроксимации на таких сетках и двухуровневое MPI+OpenMP распараллеливание для использования на современных суперкомпьютерных системах.

В настоящем докладе обсуждаются технологии решения задач на системах с большим числом ядер на узел (до 244), реализованные в решателе. Приводятся примеры расчетов внешнего обтекания тел сложной пространственной формы с использованием до 61440 гиперпотоков на системах RSK Petastream [2], установленных в Межведомственном Суперкомпьютерном Центре и СКЦ "Политехнический" Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

Литература:

1. В.А. Титарев и С.В. Утюжников. «Программный комплекс для расчета гиперзвуковых течений воздуха», Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. 2013619670, (2013).
2. A. Semin, E. Druzhinin, V. Mironov, A. Shmelev, A. Moskovsky, «The performance characterization of the RSC PetaStream module», Lecture Notes in Computer Science, V. 8488, p. 420-429, (2014).

RESEARCHING THE SPECTRUM OF BREMSSTRAHLUNG GENERATED BY THE RIUS-5 ELECTRON ACCELERATOR

R. V. Uskov, M. E. Zhukovskiy, M. B. Markov, S. V. Podoliako, I. A. Tarakanov
Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia
roman.uskov@gmail.com

The generation of bremsstrahlung produced by interaction between RIUS-5 electron beam and tantalum target is considered. The research is actual for the efficient analysis of modern and advanced bremsstrahlung sources and for studying the interaction between gamma-radiation and matter. The model of individual collisions is used to describe the radiation transport. This model is convenient for the efficient calculations parallelization on supercomputers having the heterogeneous architecture. Weight modifications of Monte-Carlo method are built. The modifications are worked out for hybrid parallelization¹. Parallel code is designed for modeling of electron and photon transport by usage of graphical processors as arithmetical coprocessors and using the NVIDIA© CUDA technology. The algorithm is tested by comparing the results of calculations using the MCNP package. Satisfactory agreement for results is shown (fig. 1).

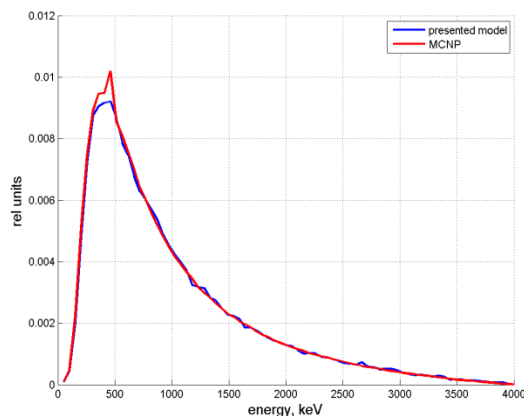


Fig. 1. Comparison of bremsstrahlung modeling results and MCNP calculations

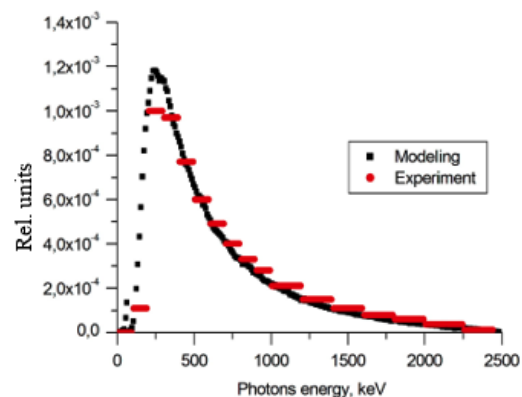


Fig. 2. Comparison of bremsstrahlung modeling results and experimental data

The comparison between the numerical simulation and the experimental data is carried out. It shows qualitative coincidence and quantitative satisfactory agreement between the calculated and experimental data (fig. 2).

Acknowledgments: This work is supported by Russian Fund for Basic Researches, grants N 14-01-00350 and N 15-01-03027

References:

1. Zhukovskiy M.E., Markov M.B., Podolyako S.V., Uskov R.V., "Modeling of bremsstrahlung generated by electron accelerator" *Mathematica Montisnigri*, Vol XXIX (2014), pp. 38-58 (in Russian).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИМАЕМЫХ ТЕЧЕНИЙ НА
НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ
СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

Суков С.А.¹, Богданов П.Б.², Горобец А.В.¹

¹ ИИМ им. М. В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4

² НИИСИ РАН, 117218, Москва, Нахимовский просп., 36, к. 1.

В работе описывается вариант численного алгоритма моделирования вязких газодинамических течений на неструктурированных гибридных сетках с различным типом ячеек и его программная реализация для гетерогенных вычислений. Для аппроксимации системы уравнений Навье-Стокса используется метод конечного объема с определением значений переменных в центрах масс сеточных элементов.

Конвективный поток через грани ячеек вычисляется на основе базовой схемы первого

порядка, выбор которой зависит от характера решаемой задачи. Повышение порядка аппроксимации конвективного потока достигается путем перехода от кусочно-постоянного распределения сеточных функций на ячейке к кусочно-линейному распределению, где полиномиальные коэффициенты вычисляются по формуле Грина-Гаусса. Диффузионный поток определяется через осреднение коэффициентов реконструкции газодинамических переменных в примыкающих к грани ячейках. Для интегрирования по времени используется явная схема.

Распределенная программная реализация численного алгоритма адаптирована к запуску на гетерогенных кластерных системах различной архитектуры. Созданы сравнительные реализации с использованием средств MPI, OpenMP, CUDA, OpenCL, которые позволяют задействовать многоядерные процессоры и различные типы ускорителей, включая графические процессоры и многоядерные сопроцессоры Intel Xeon Phi. Обмены данными между MPI процессами и между процессорами и ускорителями осуществляется одновременно с выполнением вычислений (как в режиме MPI+OpenMP, так и при использовании CUDA или OpenCL).

В докладе представлены сравнительные результаты расчета нескольких задач газодинамического обтекания (в том числе обтекания сферы при различных параметрах набегающего потока). Приводятся характеристики эффективности и показатели производительности на системах с различными типами вычислителей.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, соглашение № 15-11-30039 (разработка дискретизации для вязкой части потоков, гетерогенная реализация алгоритма на OpenCL), и РФФИ, грант № 15-07-04213 (разработка средств декомпозиции для поддержки параллельных расчетов). В работе использовались следующие вычислительные ресурсы: К-100, ИИМ им. М. В. Келдыша РАН; МВС-10П, МСЦ РАН; Ломоносов-2, МГУ им. М. В. Ломоносова. Авторы выражают благодарность вышеуказанным организациям.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ INMOST В РАСЧЕТНОМ КОДЕ GeRa ДЛЯ РАБОТЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СЕТКАМИ ОБЩЕГО ВИДА

Ю.В.Василевский¹, И.В.Капырин^{1,2}, И.Н.Коньшин^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики РАН*

²*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
igor.konshin@gmail.com*

В работе рассматривается применение программной платформы INMOST для разработки конкретного промышленного приложения, выполняющего параллельные расчеты на сетках общего вида. Технологическая платформа INMOST (Integrated Numerical Modelling and Object-oriented Supercomputing Technologies) является средством суперкомпьютерного моделирования, поддерживающим максимальную общность расчетных сеток, кроссплатформенность разрабатываемого кода, а также гибкость и эффективность используемых распределенных структур данных. INMOST поддерживает работу с разнообразными сеточными элементами, предоставляет набор функций для работы с ними, позволяет прикреплять к ним различные данные, выполнять обмены, а также проводить перераспределение данных и балансировку. INMOST помогает выполнить дискретизацию исходной задачи, сформировать и решить возникающие линейные системы. Для этого в рамках единого интерфейса платформы можно использовать как сторонние пакеты, например, PETSc или Trilinos, так и внутренние линейные решатели на основе приближенного разложения второго порядка.

Возможности программной платформы INMOST по разработке вычислительного кода с использованием интерактивного интерфейса пользователя демонстрируются на расчетном коде GeRa. Этот код предназначен для моделирования подземной фильтрации и переноса радионуклидов в геологических средах. Расчетный код GeRa включает модули геологического моделирования, генерации сеток и различных типов дискретизации для задач фильтрации и переноса. Разработаны также средства графической визуализации данных, сохраняемых в платформе INMOST, а также средства анализа и верификации полученных результатов. Поддерживается работа с сетками общего вида, включая призматические и иерархические гексаэдральные сетки на основе восьмидеревьев. Приводятся результаты моделирования для задач фильтрации и переноса, включающих различные физические процессы, такие как плотностная и тепловая конвекция, химические взаимодействия и радиоактивный распад.

References:

1. Ю.В. Василевский, И.Н. Коньшин, Г.В. Копытов, К.Д. Терехов, «INMOST – программная платформа и графическая среда для разработки параллельных численных моделей на сетках общего вида». Изд-во Московского университета, Москва, стр. 144, (2013).
2. «INMOST: a toolkit for distributed mathematical modeling», <http://www.inmost.org> (2016).
3. И.В.Капырин, В.А.Иванов, Г.В.Копытов, С.С.Уткин, «Интегральный код GeRa для обоснования безопасности захоронения РАО», Горный журнал, №10, стр. 44-50, (2015).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТАХ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ С ЭКСТРАМАССИВНЫМ
ПАРАЛЛЕЛИЗМОМ**

С.В. Подоляко, М.Е. Жуковский, М.Б. Марков, Р.В. Усков, Е.Г. Лукьянова

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
posev66@yandex.ru*

Разработан метод статистического моделирования энерговыделения нейтронного излучения в сложных многокомпонентных объектах основанный на решении интегрального уравнения переноса нейтронов методом Монте-Карло¹. Искомые физические величины (энерговыделение, плотность источников вторичного гамма-излучения) определяются в виде функционалов на пространстве решений уравнения переноса нейтронов. Для статистической оценки этих функционалов моделируются случайные траектории нейтронов в многокомпонентной среде со сложной геометрией. Расчет парциального вклада каждой траектории нейтрона в плотность энерговыделения и плотность источников вторичного гамма-излучения осуществляется блоком детектирования.

Алгоритм реализован в виде программного комплекса для статистического моделирования на суперкомпьютерах с экстремальным параллелизмом переноса нейтронного излучения в многокомпонентных объектах сложной геометрии. Комплекс позволяет проводить оценку энерговыделения и плотности источников вторичного гамма-излучения, генерируемого при взаимодействии быстрых нейтронов с веществом. Реализованные в комплексе алгоритмы основаны на решении интегрального уравнения переноса нейтронов с помощью построенных весовых модификаций метода Монте - Карло и предназначены для расчетов на гетерогенных суперкомпьютерах с применением технологий MPI и NVidia[®]CUDA.

Благодарность: Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-01-03027 и № 14-01-00350.

Литература:

1. Кольчужкин А.М., Учайкин В.В. Введение в теорию прохождения частиц через вещество. М.: Атомиздат, 1978.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ ОБЛАСТЬ С ВИХРЕВЫМИ СТРУКТУРАМИ

А.И. Симаков, И.Г. Лебо

Московский технологический университет, г. Москва пр-т Вернадского, д. 78

Рассмотрена модельная задача взаимодействия ударной волны с вихревыми структурами в газе. Решены варианты взаимодействия вихрей с падающей и отраженной ударной волной. Для падающей ударной волны проведены сравнения полученных результатов с результатами в [1]. Расчеты сделаны с помощью программы NUT_p на суперкомпьютере МВС-100К. Для распараллеливания задачи был использован геометрический метод.

Литература:

1. И.Г. Лебо, М.Ж. Акжолов, “Моделирование взаимодействия ударной волны с вихревыми структурами в газе”, Вестник МГТУ МИРЭА (MSTU MIREA Herald), 2(7), с. 240-250 (2015).
2. И.Г. Лебо, В.Ф. Тишкин, “Исследование гидродинамической неустойчивости в задачах лазерного термоядерного синтеза”, М.: ФИЗМАТЛИТ, (2006).

PARALLEL HIGH-ORDER STOCHASTIC FINITE VOLUME METHOD FOR THE UNCERTAINTY QUANTIFICATION IN CFD PROBLEMS

Tokareva S. A.

¹*Institute of Mathematics, University of Zurich, Wintherthurerstrasse 190, 8057 Zurich, Switzerland*

In this talk we shall discuss the parallel implementation of the Stochastic Finite Volume (SFV) method for the uncertainty quantification in CFD problems. The SFV method is based on the parametrization of the probability space followed by a numerical solution of an equivalent high-dimensional deterministic problem. To this end, standard numerical approaches like finite volume or discontinuous Galerkin can be used to approximate the solution of the parametrized equations, thus allowing for a natural way to achieve a high order of accuracy and an easy calculation of the statistical quantities of interest at the postprocessing stage.

We derive the error estimates for the mean and variance resulting from the SFV method and show that the convergence rates of the statistical quantities are equivalent to the convergence rates of the deterministic solution.

Being highly computationally intensive, the SFV method requires an efficient parallelization algorithm that is based on the domain decomposition of the extended high-dimensional computational domain. In addition, an anisotropic discretization of the stochastic space is proposed to reduce the computational cost of the method.

The resolution capabilities of the SFV method are compared to Multi-Level Monte Carlo method. Finally, we generalize the SFV approach and apply the discontinuous Galerkin discretization on the unstructured triangular (in 2D) or tetrahedral (in 3D) grids in the physical space. We demonstrate the efficiency of the implemented method on various numerical tests and give some ideas for further improvements of the method.

**SUPERCOMPUTER MODELING OF SPACE RADIATION
EFFECT ON SATEL-LITES**

Berezin A.V., Volkov Y.A., Gasilov V.A., Zhukovsky M.E., Krukov A.A., Markov M.B., Parot'kin
S.V., Sysenko A.V., **Tarakanov I.A.**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Miusskaya sq.4, Moscow, 125047, Russia
e-mail:liu_roach@mail.ru*

The investigation of space radiation effect on satellites is an actual technical problem. Electrons, heavy charged particles and photons of cosmic space can destroy satellite protective coats, cause electrical pickups in radio equipment and failures of microelectronic devices. Only mathematical modeling can describe these physical phenomena, because experimental research is a very complex, expensive and frequently unsolvable problem.

The satellite in operation is a complex media, which scatters space radiation. Satellite is made up of composite materials and is surrounded by ionized atmosphere. Communication and control equipment generates electromagnetic field in the satellite.

Specialists of Keldysh Institute of Applied Mathematics design software package for modeling the interaction of charged particles and photons with complex technical objects in real operating conditions. Package includes computation modules with unified data exchange protocol and user interface. In addition, package includes different supporting modules.

Classic stationary transport equations model the scattering of free particles in materials of satellite. Corresponding module uses Monte-Carlo method for this equation numerical solving. Direct modeling of charged particle scattering is used. It allows considering low scale effects, when charge particle free path is comparable with material heterogeneity.

Classic and quantum kinetic equations with scattering and field effects describe the radiation transport propagation in gas, vacuum and solid materials. Maxwell equations model the field. Dispersion of dielectric permittivity is taken into account for solid propellant of satellite engine. Radiation conductivity is also modeled in gases and solid materials. Mathematical models of these physical phenomena are united in one module, which is called as complex radiation effects code.

Computation modules are united in program script with KIAM's program code MARPLE-3D. It models effects of radiation gas dynamics. Script allows taking into account materials dynamics under radiation influence.

Recently we designed new computational module for calculating radiation conductivity in active areas of microelectronic devices as a part of complex radiation effects code. External free particles create excess charge carriers – electrons of conductivity and holes of valence band. Collision's integral in quantum kinetic equations describes charge carriers scattering on phonons and impurities. The statistic particle method is carried out numerical solving of quantum and classic kinetic equations. This method combines stochastic modeling of carrier scattering and particles motion in self-consistent electromagnetic field.

Software package is oriented toward supercomputer with heterogeneous architecture. This package can be used on supercomputer as united program and as separate modules.

Acknowledgement :

The reported study was partially supported by RFBR, research project No. 14-01-00350, No. 15-01-03027

ЖИВАЯ ПУБЛИКАЦИЯ: СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ

М.М. Горбунов-Посадов

ИИМ им.М.В.Келдыша РАН
gorbunov@keldysh.ru

Мир научных публикаций все яростнее приобретает вебоцентрические черты (рис. 1).



Рис. 1. Жизненный цикл научной публикации

Онлайновое представление становится центральным звеном публикационной активности ученого. С него начинается жизненный цикл публикации: поставив последнюю точку, автор спешит прежде всего разместить работу на общедоступном сайте, где спустя секунды с ней смогут познакомиться заинтересованные коллеги.

Редактирование. Над онлайн-представлением ученый постоянно работает, исправляя, дополняя, обновляя и совершенствуя. Тем самым онлайн-представление, т. е. самый массовый читатель всегда имеет дело только со свежим материалом.

Обсуждение. Онлайн-представление публикации обычно сопровождается форумом, где каждый читатель может высказать свои мысли, навеянные только что прочитанным.

Рецензирование. Размещение статьи в свободном доступе все чаще опережает рецензирование. Далее решение за читателем: обращать внимание только на статьи, прошедшие полный цикл рецензирования, или же читать все подряд, знакомясь, в частности, с самыми свежими, еще не проанализированными рецензентами публикациями.

Печать. Печать становится рутинной, по мере необходимости многократно повторяемой процедурой.

Журнал. Публикация в журнале из средства оповещения коллег превращается в инструмент привлечения экспертов для оценки качества статьи.

Энциклопедия. Скорость взаимодействия автора научной публикации с онлайн-энциклопедией исчисляется сегодня не десятилетиями, а секундами.

Литература

1. Горбунов-Посадов М.М. “Интернет-активность как обязанность ученого”, Информационные технологии и вычислительные системы, № 3, с. 88–93 (2007)
URL: <http://keldysh.ru/gorbunov/duty.htm>

МЕТОД ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ ОБЪЁМОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЕРШИННО-ЦЕНТРИРОВАННЫХ СХЕМ НА ГИБРИДНЫХ СЕТКАХ

П.А. Бахвалов

ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4

В докладе будет рассмотрен вопрос о построении конечно-объёмных вершинно-центрированных схем с реберно-ориентированной аппроксимацией потоков, обеспечивающих точность на линейной функции. Эти схемы конструируются путем дискретизации законов сохранения для специально построенных вокруг узлов контрольных объемов, потоки через грани которых определяются только в срединных точках ребер сетки на основе аппроксимации сеточных переменных вдоль направления соответствующего ребра.

Для численного решения задач гиперболического типа на треугольных и тетраэдральных сетках такие схемы стали применяться с середины 80-х годов. В [1] было замечено, что метод Галёркина с кусочно-линейными базисными функциями может быть представлен в виде конечно-объёмной схемы на дуальных медианных ячейках. Этот факт лёг в основу «линейной» схемы Т. Barth [2], которая стала прародителем всех рёберно-ориентированных схем для решения гиперболических задач.

Целью настоящей работы является обобщение линейной схемы для решения уравнений Эйлера на неструктурированные сетки, состоящие из элементов разных типов. Для сохранения точности на линейной функции вводится новое понятие «полупрозрачных» контрольных объемов, являющихся обобщением медианных ячеек на неструктурированную гибридную сетку. В предлагаемой схеме, использующей такие объёмы, потоки определяются не только в центрах рёбер, но и в центрах диагоналей сеточных элементов. Будут описаны особенности параллельного алгоритма, реализующего расчеты с использованием полупрозрачных ячеек на современных суперкомпьютерах, и приведены результаты расчетов линейных и нелинейных тестовых задач.

Мы предполагаем, что идея локальных разбиений может найти применение и для других задач, в которых используется консервативная аппроксимация производной, основанная на рёберно-ориентированном подходе.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, соглашение № 15-11-30039.

Литература:

1. P. L. Roe, "Error estimates for cell-vertex solutions of the compressible Euler equations", ICASE report No. 87-6 (1987).
2. T. J. Barth, "A 3-D upwind Euler solver for unstructured meshes", AIAA Paper No. 91-1548 (1991).

MULTISCALE SIMULATION OF NONLINEAR PROCESSES IN GAS-METAL MICROSYSTEMS

S.V. Polyakov^{1,2}, Yu.N. Karamzin¹, T.A. Kudryashova¹, V.O. Podryga¹

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS,
125047, Moscow, Miuskaya square 4*

²*National Research Nuclear University MEPhI,
115409, Russia, Moscow, Kashirskoe highway, 31
e-mail polyakov@imamod.ru*

The work is devoted to multiscale modeling of nonlinear processes in gas-metal microsystems. This topic is relevant for many applications related to the implementation and the use of nanotechnology in various industries [1]. Our interest is connected with the processes of gasdynamic spraying the nanoparticles on the substrates in order to create coverings and new nanomaterials with specified unique properties. In previous papers we have considered some aspects of the problem associated with the calculations of equilibrium in metals and gases, as well as in their contacts with each other [2, 3]. In this paper we considered a more complex object - metal microchannel of three-dimensional geometry through which the gas flowed. Essentially it was necessary to consider the formation of gas front at the molecular level, taking into account the real structure and dynamics of the channel surface. For computer realization of the process we developed a numerical technique based on the Verlet scheme [4] and a parallel algorithm for the calculation. To compare obtained results the calculation based on quasigasdynamic system of equations [5] was produced, kinetic coefficients used in this system have been calculated in advance by methods of molecular dynamics. Computational experiments were carried out on an example of nitrogen-nickel microsystem. They showed that, due to the small size of the system a pure gasdynamic calculation needs correction. In particular, the correction for parameters of the gas near the channel walls agreed with the processes occurring at the molecular level is required.

Acknowledgements: The work was supported by Russian Foundation for Basic Research, projects No. 15-07-06082-a, 16-07-00206-a, 16-37-00417-mol-a.

References:

1. M. Rieth, W. Schommers, "Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology" (10-Volume Set), American Scientific Publishers, CA (2006).
2. V.O. Podryga, S.V. Polyakov, "Molecular Dynamics Simulation of Thermodynamic Equilibrium Establishment in Nickel", *Mathematical Models and Computer Simulations*, Vol. 7, No. 5, pp. 456-466 (2015).
3. V. Podryga, S. Polyakov, "Correction of the Gas Flow Parameters by Molecular Dynamics", *PARTICLE-BASED METHODS IV. Fundamentals and Applications*, E. Onate, M. Bischoff, D.R.J. Owen, P. Wriggers, T. Zohdi (Eds.), CIMNE, Barcelona, Spain, pp. 779-788 (2015).
4. L. Verlet, "Computer experiments on classical fluids. I. Thermodynamical properties of Lennard-Jones molecules", *Phys. Rev.*, Vol. 159, pp.98-103 (1967).
5. T.G. Elizarova, "Quasi-gas dynamic equations", Springer-Verlag, Berlin (2009).

ОРГАНИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКЕ

А.Е. Бондарев, В.А. Галактионов

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН Москва, Россия
bond@keldysh.ru; vlgal@gin.keldysh.ru

В работе рассматривается комбинированный подход, предназначенный для построения и анализа многомерных параметрических решений нестационарных задач вычислительной механики жидкости и газа. Подход предназначен для моделирования процессов образования пространственно-временных структур, таких как отрыв пограничного слоя, возникновение циркуляционных зон, возникновение пульсационных режимов течения. Современная вычислительная техника и численные методы позволяют в настоящее время тщательно и точно моделировать практически любой нестационарный физический процесс в механике сплошных сред и получать соответствующее поле физических величин. Однако в практических приложениях гораздо больший интерес вызывает не само явление, а то, при каких обстоятельствах оно возникает, т.е. зависимость возникновения явления от определяющих параметров задачи, таких как числа Маха, Рейнольдса, Прандтля и т.д. Для того чтобы рассчитать подобную зависимость необходимо организовать решение задач параметрического поиска и оптимизационного анализа. Параметрические численные исследования позволяют получать решение не для одной конкретной задачи математического моделирования, а для класса задач, заданного в многомерном пространстве определяющих параметров. Применение параллельных алгоритмов позволяет проводить численное исследование задач оптимизационного анализа, когда обратная задача решается в каждой точке сеточного разбиения многомерного пространства определяющих параметров. Представленный в докладе подход основан на решении задач подобного типа. Рассматриваются вопросы организации параллельных вычислений для подобных задач. Результаты вычислений представляют собой многомерные массивы данных. Для поиска скрытых взаимозависимостей в массивах применяются методы анализа многомерных данных и визуализации [1]. Все алгоритмы комбинированного подхода организованы в виде единой технологической цепочки. Подобная организация позволяет рассматривать реализованный подход как прототип обобщенного вычислительного эксперимента. Применение подхода позволяет проводить быструю приближенную оценку зависимости возникновения нестационарных структур в потоке от определяющих параметров задачи. Приводятся примеры практической реализации подхода.

Благодарности: Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 14-01-00769а и 16-01-00553а).

Литература:

1. Бондарев А.Е., Галактионов В.А. "Анализ и визуализация многомерных данных в нестационарных задачах вычислительной газовой динамики", Программирование, № 5, с.5-12.2, (2015).

РЕКОНСТРУКЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА ПО ДАННЫМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

М.Н. Устинин

*Институт математических проблем биологии РАН – филиал ФИЦ «Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша Российской академии наук»
ustinin@impb.ru*

Предложен новый метод анализа и локализации активности электрических источников внутри тела человека. Выполняется преобразование Фурье с использованием временных рядов за весь период регистрации, что приводит к детальным многоканальным спектрам. Дальнейший анализ позволяет получить разложение частотных компонент на функционально инвариантные сущности. Для каждой функциональной компоненты можно найти пространственное расположение источника ее магнитного поля. Метод функциональной томографии позволяет найти пространственное распределение источников магнитного поля. Три одновременно активированных физических диполя локализуются с миллиметровой точностью. При изучении магнитоэнцефалографических данных десяти контрольных субъектов было получено пространственное распределение альфа-ритма с разрешением 3 мм. По данным многоканальных магнитных измерений были рассчитаны функциональные томограммы сердца и нервно-мышечной системы кисти руки. Результатами применения метода функциональной томографии являются как общий вид электрической активности изучаемой части тела, так и детальное спектральное описание источников.

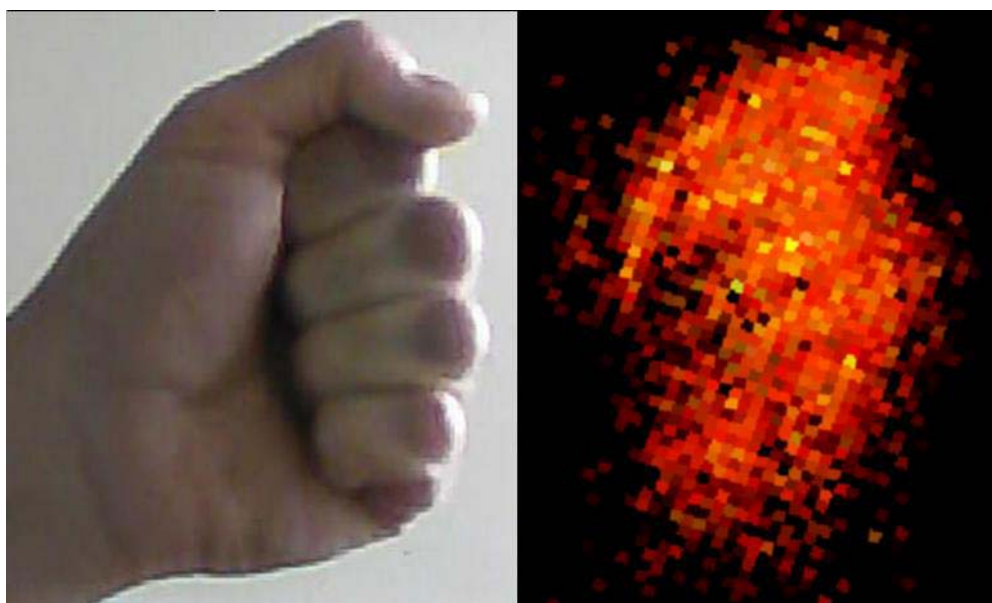


Рис. 1. Функциональная структура нервной и мышечной систем кисти руки.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 14-07-00636, 16-07-00937, 16-07-01000) и Программы фундаментальных исследований РАН I.33П.

GENERALIZED SPECTRAL-ANALYTICAL METHOD FOR BIOMEDICAL AND BIOINFORMATICS DATA PROCESSING

Sergey A. Makhortykh

*Institute of Mathematical Problems of Biology – the Branch of Keldysh Institute of Applied
Mathematics, Russian Academy of Sciences, Pushchino
makh@impb.ru*

The report presents a new method of processing, analysis, storage and conversion of data sets of different nature. It is based on an approximation of one- and multi-dimensional array in orthogonal functional bases:

$$f(x) = \sum_{i=0}^n A_i \varphi_i(x)$$

As a result of this procedure, the transition is made from a point-wise signal recording to its spectral representation. All further analysis and processing operations are performed over the spectrum. Proposed technique is adaptive to the class of signals. It consists in preliminary assessment of data type and on its results a choice of the optimal basis is performed. The correctness of the choice provides an approximation of maximal simplicity in this class of data. Approximation tuning to the desired function system is performed by the signal's vector K of "aspect ratios" [1]. Its components are the set of signal features. The problem of spectral expansion optimization is reduced, in fact, to the problem of optimal basis recognition in the feature space of coefficients:

$$K_i = \frac{(g_i, f)}{(h_i, f)}$$

(*,*) – scalar product or projection of function f on the template functions g_i, h_i with mutually contrasting properties. They may be, for example, the first basis functions of estimated basic systems. The use of adaptive procedures increases the efficiency of analytical description, and provides a high rate of data volume compression.

As will be shown in the report, it is convenient for these purposes as the basis functions to apply the modified classical orthogonal polynomials and functions. They may be of continuous and discrete arguments. Orthogonal decompositions based on classical orthogonal bases have relatively simple form, that is convenient to make analytical data transformations.

After the conversion from the original recordings to the coefficients of expansion, all operations on the signals are carried in the space of spectral features. They include pattern recognition, data classification and diagnosis, as well as the more common mathematical operations: integration, differentiation, multiplication, division, raising to integer and non-integer degree, optimal filtering, calculation of statistical moments, dimensional characteristics, and so on. For these purposes, the special library of mathematical transformations has developed for different bases (including those for functional systems of several variables). To obtain needed characteristics of the original record we have standard method of orthogonal series segments calculation. This finite orthogonal series is the required approximation of the signal characteristics. The procedures of computational technology are efficiently realized on parallel computers. So that we have practically linear scaling of both spectrum calculation and subsequent operations on the spectrum. Some basic procedures can

be implemented in hardware in the form of special expansion computing devices for mainframes.

The report presents the results of this approach in the problems of biomedicine data processing (the study of bio-magnetic activity of the brain), bioinformatics record analysis (studies of biomolecular structures, genomic and proteomic sequences), the problems of image analysis and pattern recognition [2, 3].

This work is supported by the RFBR grants 14-07-00419 and 16-01-00692.

References

1. F.F. Dedus, S.A. Makhortykh and M.N. Ustinin, «Generalized Spectral-Analytic Method in Information Processing Problems», Pattern Recognition and Image Analysis, Vol.12, N 4, pp.429-437, (2002).
2. S. Makhortykh, E. Lyzhko. «Sources localization for brain biomagnetic activity», Review of Applied Physics (RAP). V. 3, pp.25-28, (2014).
3. A. N. Pankratov, M. A. Gorchakov, F. F. Dedus, N. S. Dolotova, L. I. Kulikova, S. A. Makhortykh, et al. «Spectral Analysis for Identification and Visualization of Repeats in Genetic Sequences». Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 19, No. 4, pp. 687-692, (2009).

ПЕРЕНОС ЗАРЯДА В ПОЛИНУКЛЕОТИДНЫХ ЦЕПОЧКАХ

В.Д. Лахно

Институт математических проблем биологии РАН - филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», Пуццино
lak@impb.ru

Доклад посвящен изучению общих свойств движения заряда в молекулярных цепочках. При математическом моделировании движение заряда описывается квантовомеханически, в то время как движение колебательных степеней свободы цепочки описывается как классически, так и квантовомеханически. Типичная картина переноса заряда представляет собой перенос полярона или солитона. В рамках модели Холстейна получено аналитическое выражение для зависимости скорости частицы от напряженности электрического поля, которое анализируется посредством численного моделирования. Особое внимание уделяется случаю движения заряда в жестких цепочках, зонной структуре регулярных полинуклеотидных цепочек, динамике формирования поляронных состояний в цепочке Холстейна, движению полярона в электрическом поле, роли дисперсии, блоховским осцилляциям солитона и бризерным состояниям, биполярному механизму сверхпроводящих свойств ДНК, основанному на модели Холстейна - Хаббарда. Полученные результаты объясняют большую совокупность экспериментальных данных по переносу заряда в ДНК и в фотореакционном центре фотосинтеза и составляют основу нового научного направления - нанобиоэлектроники.

CARDIOPHYSICS AS A REVISION OF BIOPHYSICS OF THE HEART

Andrey V. Moskalenko

*Institute of Mathematical Problems of Biology RAS - the Branch of Keldysh Institute of Applied
Mathematics of Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia
cardio@mail-avm.ru*

As it has been noted previously [1, 2], after replacing the old notion of the special "living substance", the physiological language has entirely dominated among biologists and medical professionals for the whole 20th century, but all modern physiology is per se a manifestation of the mechanistic approach in biology.

The branch of biology that is denoted in the scientific literature as "biophysics of the heart" was actively developed since the mid 20th century, and in much it was created by "the 1st wave" of physicists, who tried to consider biological objects as relatively simple systems. It resulted in many erroneous conclusions, and some of those had fatal consequences. For example, it concerns the class I antiarrhythmic agents (sodium channel blockers), inasmuch as it was found in more recent studies that their use increases mortality among patients. Such an oversimplification was criticized by a number of scientists (see [3] and references in [2]).

In addition, it has been demonstrated in many studies at the beginning of the 21st century, that the biological objects belong to the complex systems — that is, their behavior is chaotic and not determinate in the Newtonian sense. Those who worked in the "biophysics of the heart" paradigm rarely took this into account.

Now the cardiovascular physics (cardiophysics) must carefully revise all the results previously obtained by the 1st wave of physicists who have been developing the "biophysics of the heart."

There is a very wide range of scientific problems that require such a revision. For example, a more detailed study of the parameter space of a number of widely used models of myocardium is required. As part of this vast task, it is necessary to investigate in detail the phenomena of bifurcation memory, which were discovered lately [4, 1].

The importance of the systematic approach was recently discussed in [1, 2], where the conception of "auto-wave function of the heart" was introduced as well as the fundamental differences between the terms "cardiac activity" and "the action of the heart" were discussed.

Acknowledgements: Author is grateful to E. E. Shnol and prof. A. Yu. Loskutov for many useful discussions.

References:

1. A. Moskalenko, "Tachycardia as "Shadow Play"", In: Takumi Yamada, editor. "Tachycardia", InTech, Croatia (2012)
2. A. Moskalenko, "Basic Mechanisms of Cardiac Arrhythmias", In: Wilbert S. Aronow, editor. "Cardiac Arrhythmias — Mechanisms, Pathophysiology, and Treatment", InTech, Croatia (2014)
3. A. Moskalenko, "Nonlinear effects of lidocaine on polymorphism of ventricular arrhythmias", *Biophysics*, Vol. 54(1), 47-50 (2009)
4. A. Moskalenko, Yu. E. Elkin, "The lacet: a new type of the spiral wave behavior", *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 40(1), 426-431 (2009)

**СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ
ПОВТОРЯЮЩИХСЯ СТРУКТУР В БИОИНФОРМАТИКЕ**

А.Н. Панкратов, Р.К. Тетуев, М.И. Пятков

*ИМПБ РАН - филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
pan@impb.ru*

Нахождение и сравнение неточных повторов является одной из основных задач биоинформатики. Обычно кандидаты на повторы находятся на основе некоторых затравок, или якорей, в последовательности и уточняются на основе выравнивания методом динамического программирования. Интригующей проблемой является множественное выравнивание повторов, когда необходимо выработать критерий того, что некоторое число кандидатов на повтор становятся одним классом. Известно, что любая метрика не в состоянии сама по себе обеспечить решение этой задачи, поскольку пороговое решающее правило не удовлетворяет условию транзитивности отношения эквивалентности.

В ходе многолетних исследований коллектива авторов был предложен и развит альтернативный подход к нахождению кандидатов на повторы с помощью сравнения последовательностей целыми блоками [1]. Для этого было предложено переводить символьную последовательность в пучок линейно независимых кривых, Фурье-спектры которых могут быть использованы при оценке расстояния между повторами.

Потенциально сильная сторона развиваемого метода – это возможность распознавания тандемных повторов, что также можно интерпретировать как множественное выравнивание повторов. На точечной матрице, отражающей сравнение всех попарно блоков последовательности, тандемные повторы могут быть представлены в виде совершенного (заполненного) квадрата. Это отражает тот факт, что можно корректно с точки зрения решающего правила установить отношение эквивалентности между неточными повторами.

На основе предложенного подхода разрабатывается высокопроизводительная программа с веб-интерфейсом для поиска кандидатов повторов по образцу и верификации повторов путем выравнивания на основе метода динамического программирования.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ, проекты № 14-07-00924, 15-29-07063.

Литература:

1. А.Н. Панкратов, Р.К. Тетуев, М.И. Пятков, В.П. Тойгильдин, Н.Н. Попова, «Спектрально-аналитический метод распознавания неточных повторов в символьных последовательностях», Труды Института системного программирования РАН Том 27, Выпуск 6, стр. 335-344, (2015)

МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРЦИАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ ОТДЕЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ МАГНИТНОЙ ЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

С.Д. Рыкунов, М.Н. Устинин

*Институт математических проблем биологии РАН – филиал ФИЦ «Институт прикладной
математики им. М.В.Келдыша Российской академии наук»
stanislavrykunov@gmail.com*

Предложен метод выделения парциальных спектров активности головного мозга человека по данным реконструкции функциональной структуры мозга человека на основе магнитоэнцефалографических измерений. Под парциальным спектром в данной работе понимается многоканальный спектр Фурье, порождаемый источниками, расположенными в определенной области мозга. Метод включает в себя следующие этапы: - построение функциональной томограммы по данным магнитной энцефалографии; - сегментация магниторезонансной томограммы головы конкретного субъекта; - создание масок на основе сегментации; - наложение масок на функциональную томограмму; - сборка парциального спектра из спектральных компонент, попавших в область маски, соответствующей той или иной анатомической структуре. Были получены парциальные спектры таламуса, мозжечка и затылочной доли мозга для 20 наборов экспериментальных данных. Пространственное разрешение полученных атласов не менее 3 мм, частотное – не менее 1/300 Гц.

Предлагаемая технология позволит делать выводы о происхождении тех или иных деталей спектра, а также восстанавливать энцефалограмму изучаемой области мозга.

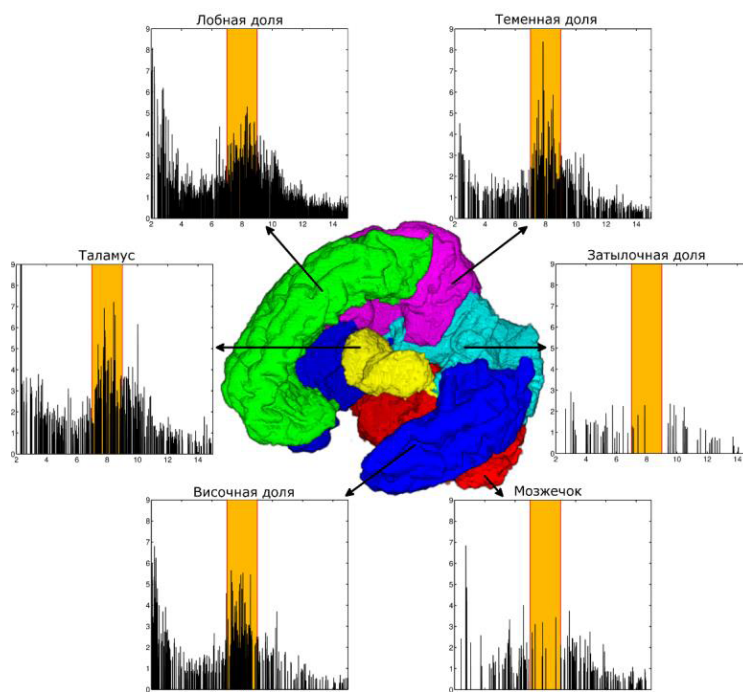


Рис. 1. Парциальные спектры отделов головного мозга у пациента с невралгией тройничного нерва. Желтым на спектрах отмечена область пика, соответствующего изучаемой патологии.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 14-07-00636, 16-07-00937, 16-07-01000) и Программы фундаментальных исследований РАН I.33П.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF MICROWAVE RADIATION OF LOW INTENSITY ON LIVE MICROORGANISMS

Tsarkova O. G.

*A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia
olga@kapella.gpi.ru*

In Russia, the most common GSM standard phones use electromagnetic radiation (EMR) in the range from 800 MHz to 1.9 GHz, and WiFi and Bluetooth devices use frequency 2.4 GHz coinciding with the frequency of radiation in a microwave oven [1]. There is investigated how the processes that contribute to the rapid heating of the body by the microwave radiation in the furnace can do harm to living organisms with using a cellular telephone.

It is known that the electromagnetic field reorienting water dipole molecules causes its heating and changing the physical and chemical properties of water, continuing for time [2]. Therefore, the effect of microwave radiation even of low intensity on micro objects which live in water and which, in fact, consist of water (e.g., some cellular organisms) can be significant or even fatal. Changing the status of living organisms can be more obvious than this of immobile objects as before the destruction of intermolecular bonds in living can be observed changes in vital processes recorded by video.

In addition to the thermal effects the microwave radiation can induce own resonant vibrations of the molecular structure of water. There is of particular importance, that the generation of secondary resonant waves on the frequency of about 1 GHz is close to mobile phones EMR [3]. Moreover, in the water because of its fractal-cluster structure the effect of mutual conversion between the frequencies of the resonant radio waves as millimeter and decimeter ranges is realized [4]. This means that the mobile phones EMR can induce a resonant response in organisms ranging from tenths to several millimeters (when exposed to the microwave waves and their harmonics with wavelengths corresponding to the size of the micro organisms).

The analysis of the aggregate data – video monitoring of a status of the microorganisms and the registration of changes of temperature of the working solution by an electronic sensor – has allowed revealing regularities at an impact of mobile phones EMR on living microobjects.

The study found the effect of microwave radiation during a call from one smartphone to another to increase the temperature sensor readings immersed in “blooming” water. When exposed to EMR phones waves the microorganisms dramatically shrink, lose interest in food, gradually slowing its movement. With comparing two files recorded simultaneously (video and a graph the solution temperature versus time) was observed a definite correlation between compression of a body of rotifer and the sensor signal. It found that smartphones EMP affect on a frequency of its convulsions. After an irradiation for 14.5 minutes, spasms and rotating internals of the rotifer are registered.

Due to the expressed polarity of water it was examined how the electrical conductivity of a series of polar fluids affects the level of the temperature sensor signal. An increase of temperature change with increasing conductivity fluids (used table data) is found out. It is planned to investigate the possible impact of changes in the electrical conductivity of the

working solution at the exposure of mobile phones EMR on a change the temperature of the sensor signal and the livelihoods of live objects in the solution.

References:

1. О Nokia. Все для телефонов Nokia. "Как защититься от излучения сотового телефона". [Электронный ресурс]. URL: <http://pradmobkom.ucoz.ru/publ/1-1-0-62> (дата обращения 21.03.2016).
2. З.Х.-М. Хашаев, А.Ф. Кожокару, Э.М. Шекшеев, "Влияние облученной ЭМИ дистиллированной воды на растительные объекты" Тр. Междунар. конф. "Интеллектуальные САПР" С. 274-281.
3. В.Ф. Мышкин, В.А. Власов, В.А. Хан, Л.Н. Шиян, В.С. Польшенко, "Структура и свойства воды, облученной СВЧ излучением" Научный журнал КубГАУ, № 81 (07), С. 51-63 (2012).
4. В.И. Петросян, О.В. Бецкий, А.В. Майбородин, С.А. Дубовицкий, С.В. Власкин, А.В. Благодаров, А.Н. Мельников, "Резонансные свойства и структура воды", Компания "Проект "Новые технологии" (P.N.T.)", ИПЭ РАН, Медико-техническая ассоциация "МТА-КВЧ", Центральный НИИ измерительной аппаратуры (ЦНИИИА). [Электронный ресурс]. — URL: <http://aquatone.su/d/447480/d/rezonansnye-svoystva-i-struktura-vody.pdf> (дата обращения 21.03.2016).

**MATHEMATICAL MODELING APPLICATION WITHIN ANKYLOSING
SPONDYLITIS PATIENTS**

Nikolić Emilija¹, Brandamajer Tijana², Nikolić Aleksandar³

¹*Department of physiotherapy, Medicine Faculty, University of Montenegro, 81000,
Podgorica, Montenegro.*

²*Medicine Faculty, University of Montenegro, 81000, Podgorica, Montenegro.*

³*Institute for physical examination Montinspekt, 81000, Podgorica, Montenegro.
email:ema.med@t-com.me*

Rheumatic diseases are considered as public health issue. Special place goes to Ankylosing spondylitis (AS).

Patients with AS diagnosis were treated in Mediterranean Center Igalo. Spirometry parameters, lumbar spine (Schober's test) and width of chest were measured at the beginning and at the end of this therapy. Also, modified questionnaire related to overall health condition was developed.

High correlation between summary value of modified questionnaire (SCORE) and parameters of pulmonary function was recognized respectively: a) -0.77 (SCORE-PEF) b) -0.90 (SCORE- FEV1) c) -0.78 (SCORE-FVC). Correlation between Schober's test and parameters of pulmonary function was not significant: a) Sch./FEV1=0.12, b) Sch./PEF=0.10; c) Sch./ FVC = 0.02.

By using of non-linear regression analysis, admissible mathematical model was developed to provide the values of modified questionnaire on the basis of spirometric parameters and Schober's test results.

All investigated parameters indicated significant improvement at the end of treatment. The highest improvement was noted for parameter FVC. Also, improvement in chest elasticity was noted. At the end of research, 30% of patients with AS were anxious while 20% of patients with AS suffered of depression syndrome.

Research results suggested modernization of therapeutic modalities for treatment of patients with AS.

Key words: Ankylosing spondylitis, Schober's test, Spirometry, Mathematical modelling

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ADAPS

В.Е. Золотов, Т.Е. Фахрутдинов, В.В. Алексеев, Г.К. Боровин, И.Е. Молотов
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

С 2013 г. в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН начала разрабатываться новая база данных по космическим объектам (КО) ADAPS, чтобы проводить исследования РАН по космическому мусору и поддерживать работу сети НСОИ АФН. ADAPS автоматически выполняет ежедневное планирование телескопов НСОИ АФН, сбор и обработку оптических измерений, определение параметров орбит КО и оценки точности, поиск и анализ возможных тесных сближений на высоких орбитах. В 2015 г. были разработаны новые программные модули ADAPS - модуль рейтингового планирования совмещенных обзорно-эфемеридных наблюдений, модуль сбора и обработки оперативных метеоданных и прогнозируемых параметров метеоусловий в районах размещения наблюдательных средств, модуль автоматизированной оценки изменений космической обстановки на 3-х суточном интервале, модуль формирования отчета о результатах работы оптических телескопов с идентификацией наблюдавшихся объектов и анализом точности полученных измерений.

Кроме того, программный комплекс был перенесен на новые счетные сервера (4 сервера Supermicro SYS-1027GR-TRFT по 48 ядер), что позволило повысить общую производительность до 7,5 Терфлопс.

За год от 74 телескопов было собрано 15,4 миллиона измерений в 2,1 миллионах проводок, что позволило поддерживать орбиты для 4100 высокоорбитальных КО (1800 на геостационарной и 2300 на высокоэллиптических орбитах).

В докладе представлены структурная и функциональные схемы комплекса ADAPS, рассказывается о работе его отдельных модулей, показывается статистика полученных результатов.

INCREASING OF NEW GEO/HEO SPACE DEBRIS DISCOVERY RATE WITH ISON OPTICAL NETWORK

Igor Molotov¹

¹*Принадлежность, Адрес, (по центру, курсив, Times New Roman 11 pt)*

¹*Институт Прикладной Математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва*

im62@mail.ru

International Scientific Optical Network (ISON) represents one of largest systems specializing in observation of space objects. ISON provides permanent monitoring of the whole GEO region, regular surveying of Molniya type orbits, and tracking of objects at GEO, GTO, HEO and LEO. ISON project is continuously developing and is joining now the 37 observation facilities in 15 countries with 79 telescopes of different class (aperture from 12.5 cm to 2.6 m). 15.4 millions measurements in 2.1 millions of tracklets for about 5000 objects are collected by KIAM in 2015. 339 new space objects have been discovered, 307 previously lost objects have been rediscovered. For comparison, 160 new objects have been discovered in 2014, and 250 in 2013. 2014 was devoted to putting into operation of small survey and follow up telescopes (including new subsystem for extended GEO surveys to determine more precise orbits for con-junction analysis). This caused some decreasing of new space debris discovery rate in 2014. During 2015 ten (five 40 cm, three 50 cm and two 65 cm) telescopes have been installed. In addition, the methodology of quick identification and follow up of new space objects has been adjusted in part of ISON observatories. This resulted significant increasing of GEO/HEO space debris discovery rate. Achieved parameters of the above mentioned telescopes and obtained results will be presented and discussed. It is planned to start the printing of KIAM monthly bulletin with orbits of new discovered space debris.

ГЛОБАЛЬНОЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРСА И ЛУНЫ

И.В. Флоринский, С.В. Филиппов

*Институт математических проблем биологии РАН –
филиал Федерального исследовательского центра
«Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН»,
142290, Московская обл., г. Пуцино, ул. проф. Виткевича, 1
iflor@mail.ru*

Морфометрическое моделирование [1] систематически применяется в разномасштабных исследованиях планет и спутников. Нами разрабатывается система виртуальных морфометрических глобусов Марса и Луны.

Для первой тестовой версии системы в качестве исходных данных использованы две глобальные цифровые модели высот (ЦМВ) этих небесных тел (разрешение 15'), выделенные из цифровых архивов данных миссий Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) и Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA). С помощью конечно-разностного метода для сетки сфероидических трапеций, по этим ЦМВ для Марса и Луны рассчитаны глобальные цифровые модели и карты нескольких морфометрических величин (горизонтальная кривизна, вертикальная кривизна, минимальная кривизна, максимальная кривизна и водосборная площадь).

При разработке первой тестовой версии системы морфометрических глобусов был использован пакет Blender [2] – бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, предназначенное для трехмерного моделирования и визуализации. Вначале была создана трехмерная сферическая модель глобуса. Затем глобальные морфометрические карты были наложены на поверхность сферы в виде текстур. Для реализации вращения и масштабирования виртуального глобуса был применен графический движок Blender, работающий в режиме реального времени. Тестовая версия системы продемонстрировала хорошую работоспособность.

Морфометрические глобусы ясно отображают особенности глобального рельефа Марса и Луны, согласно физико-математическому смыслу морфометрических величин. Дальнейшая разработка системы предусматривает: 1) расчет глобальных морфометрических моделей Марса и Луны с более высоким разрешением (5', 2' и 30"); 2) интегрирование полученных текстур в систему; и 3) размещение системы виртуальных морфометрических глобусов в сети Интернет, в виде элемента портала планетных данных [3].

Благодарности: Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ 15-07-02484.

Литература:

1. I.V. Florinsky, “Digital terrain analysis in soil science and geology”, Academic Press, Amsterdam, 379 p. (2012).
2. I.V. Florinsky, S.V. Filippov, “Development of virtual morphometric globes using Blender”, arXiv:1512.08511 [physics.geo-ph], 14 p. (2015).
3. Геопортал планетных данных. М.: Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, Московский государственный университет геодезии и картографии, 2015–2016, <http://cartsrv.mexlab.ru/geoportal>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАРНИРНО СВЯЗАННЫХ ТЕЛ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

Е.В. Страшнов, А.М. Трушин

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия

Email: strashnov_evg@mail.ru

В настоящее время актуальным является моделирование динамики связанных тел в системах виртуального окружения в реальном времени. Это важно для обучения операторов тренажеров навыкам управления робототехническими и транспортными средствами. Для этого необходимо моделировать динамику широкого класса машин и механизмов, для которых требуется реализовать шарниры различного типа (сферический, осевой, призматический и т.д.) с трением и с ограничениями на параметры относительного движения, которые также могут быть оснащены электроприводом с редуктором, тормозной муфтой и т.п. Поэтому задача состоит в том, чтобы разработать эффективные алгоритмы моделирования динамики систем связанных тел, которые позволят реализовать сложные операции, такие, как захват груза манипулятором, разгребание завалов и т.д.

Предлагаемая технология моделирования динамики систем тел основана на методе последовательных импульсов [1] с реализацией электропривода с редуктором и пружины с демпфером. В рамках данного подхода для описания системы тел используется полный набор координат, а механические связи и другие физические процессы (такие как трение и удар) описываются с помощью набора ограничений в виде уравнений или неравенств. В отличие от классического способа представления системы тел с помощью обобщенных координат, данный способ зарекомендовал себя, как более универсальный и позволяет все физические процессы для системы тел обрабатывать единообразно. Электропривод с редуктором реализуется с помощью уравнения динамики электродвигателя постоянного тока и ограничения, связывающего координаты тел и угол поворота двигателя. На основе данного метода также предлагается моделировать пружины с внедрением «мягких» ограничений, которые позволяют обрабатывать пружины с произвольным параметром жесткости и коэффициентом демпфирования. Метод последовательных импульсов является итерационным и эквивалентен проекционному методу Гаусса-Зейделя для решения ЛСР (задача линейного дополнения). Для улучшения сходимости метода используется стратегия, которая состоит в накапливании вычисленных импульсов для каждого ограничения и их использовании в качестве начального приближения на следующем шаге моделирования.

Разработанные алгоритмы и методы были внедрены в подсистему динамики имитационно-тренажерного комплекса, разработанного в НИИСИ РАН. Ее апробация на типовых сценариях показала, что предложенные алгоритмы и методы удовлетворяют требованиям к системам виртуального окружения.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ (грант 16-37-00107 мол_а).

Литература:

1. М.В. Михайлюк, Е.В. Страшнов. Моделирование системы связанных тел методом последовательных импульсов. – Труды НИИСИ РАН – 2014 – т. 4, № 2. – с. 52-60.

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

А.В.Мальцев, П.Ю.Тимохин, Л.А.Финагин

*ФГУ ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований
Российской Академии Наук, Москва, Россия
Email: mix@niisi.ras.ru*

В настоящее время широкое распространение получают видеотренажерные комплексы, в которых тренировки операторов проводятся на виртуальных моделях. Кроме моделей такие комплексы включают систему управления, систему моделирования динамики и систему визуализации. Система управления преобразует воздействия оператора на элементы управления в управляющие сигналы (например, напряжения, подаваемые на двигатели). Система динамики рассчитывает новые положения и ориентации всех динамических объектов виртуальной сцены, а система визуализации производит синтез изображений этой сцены и вывод их на экран или шлем виртуальной реальности. Время работы всех систем для формирования одного кадра визуализации не превышает 40 миллисекунд, что обеспечивает масштаб реального времени.

Для проведения тренировок операторов мобильных роботов в рамках видеотренажерного комплекса обычно создают набор виртуальных сцен, в каждой из которых отрабатывается решение своего класса задач. В данной работе предлагается технология моделирования универсального виртуального полигона, включающего широкий класс типов роботов и объектов окружающей обстановки, который позволяет моделировать большое число ситуаций (задач) и условий их выполнения. Полигон представляет собой участок местности, содержащий ровные поверхности, холмы, водоемы, лестницы, мосты, деревья, кусты, фонарные столбы и т.д. На участке расположены также строения с разнообразным интерьером. К числу решаемых на полигоне задач относятся отработка управления робототехническим средством, объезд препятствий, захват и перемещение объектов, разбор завалов, преодоление водных препятствий, тушение огня с помощью струи воды и пены, смена инструмента и т.д. Можно также создавать нештатные или чрезвычайные ситуации и проводить тренировки по их устранению. Поставленные задачи в полигоне можно выполнять в различных условиях: моделируется дневное и ночное время, закат и восход солнца, а также падение дождя и снега [1]. Для условий снегопада разработан зимний вариант полигона, в котором наружные объекты покрыты снегом.

Данная работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 16-07-00760) в рамках системы визуализации GLVIEW [2] для тренажерных комплексов управления мобильными роботами, созданной в НИИСИ РАН.

Литература:

1. Мальцев А.В. «Моделирование атмосферных осадков в трехмерных сценах с использованием CUDA», Информационные технологии и вычислительные системы. № 2. с. 31-39 (2015)
2. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. «Система визуализации «GLView» для имитационно-тренажерных комплексов и систем виртуального окружения». Труды Международной научной конференции Графикакон-2015, Москва-Протвино, стр. 96 – 101 (2015).

УПРАВЛЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ КАМЕРОЙ С ПОМОЩЬЮ ЭРГОНОМИЧНОГО ЖЕСТОВОГО ИНТЕРФЕЙСА

М.В. Михайлюк¹, Д.А. Кононов¹

¹ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской
академии наук», Москва
mix@imvs.ras.ru

Ключевые слова: жестовый интерфейс, управление, опорные точки, Kinect.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования в области разработки новых видов эргономичных интерфейсов управления [1–3]. Одним из таких интерфейсов является бесконтактный жестовый интерфейс, при котором управляющие команды определяются положением рук и головы оператора (т.е. позой), а также их движением (т.е. жестом). Этот интерфейс представляется естественным и удобным для человека и возникает задача определения тех областей управления, в которых его можно использовать.

В данной работе предлагается использовать жестовый интерфейс для управления виртуальной камерой в системах виртуального окружения. Управление производится движением камеры и ее поворотами вокруг локальной системы координат. Каждому из этих движений ставится в соответствие положение правой руки оператора, например, вытянутая вперед рука, поднятая вверх, согнутая в локте и т.д. Положение левой руки аналогичным образом задает скорость движения.

Для распознавания позы, т.е. положения обеих рук оператора, предлагается использовать устройство Microsoft Kinect [4]. Это устройство включает инфракрасный излучатель и сенсор, который принимает отраженные инфракрасные лучи и на их основе вычисляет расстояния от сенсора до точек объектов. Это позволяет определить положения в пространстве опорных точек скелета оператора (в данном случае, суставов рук) и углы между сочленениями в этих точках. В каждый момент времени вектор этих углов задает текущую позу оператора. Текущая поза сравнивается с векторами управляющих поз, записанных в информационной базе, и в случае совпадения (с некоторой точностью) с одной из них, идентифицируется как управляющее воздействие. В этом случае идентификатор позы передается в систему управления.

Система управления представляет собой функциональную схему, которая по идентификатору позы вычисляет координаты нового положения и углы ориентации виртуальной камеры. Эти параметры передаются по специальному информационному протоколу в подсистему визуализации, которая производит синтез изображения виртуальной сцены из нового положения виртуальной камеры.

В ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН разработаны программные модули, реализующие описанные эффективные распределенные методы и алгоритмы управления виртуальной камерой с помощью жестового интерфейса, реализованного с использованием устройства Kinect. Модули написаны на языке Microsoft Visual C++ для персональных компьютеров и работают в масштабе реального времени, т.е. посылка информационных пакетов производится с периодичностью, не превышающей 30 мс. Апробация этих модулей была проведена в рамках созданной в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН системы визуализации «GLView» [5] для имитационно-тренажерных комплексов и показала их адекватность требованиям эргономичного интерфейса. В случае настенного экрана устройство Kinect может быть установлено возле экрана, а пользователь - находится перед экраном, что в стерео режиме создает ощущения присутствия в виртуальной среде.

Благодарности: Данная работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 15-07-04544).

Литература:

3. Л.А. Котюжанский, «Интерфейс бесконтактного управления», Фундаментальные исследования №4, стр. 44-48, (2013).
4. М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев, Д.В. Омельченко, «Эргономичный голосовой интерфейс управления антропоморфным роботом», Программные продукты и системы, № 4, стр. 75-78, (2015)
5. Б.И. Крючков, М.В. Михайлюк, В.М. Усов, «Голосовые команды для дистанционного управления антропоморфными роботами на основе метода «обучения показом движения», Пилотируемые полеты в космос, Звездный городок, № 4(17), стр. 57-71, (2015).
6. «Kinect for Windows SDK 1.8», Url: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx> (дата обращения: 30.03.2016).
7. М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев, «Система визуализации «GLView» для имитационно-тренажерных комплексов и систем виртуального окружения», Труды Международной научной конференции Графикон-2015, Москва-Протвино, стр. 96 – 10, (2015).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ
В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ ЗЕМЛИ**

И.А. Кочетов

*Физический факультет Московского Государственного Университета, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
e-mail: kochetov.ilja@physics.msu.ru*

Данная работа посвящена моделированию токового слоя в магнитосферном хвосте Земли. Как известно, из-за обтекания собственного магнитного поля Земли солнечным ветром на ночной стороне (в направлении от Земли) образуется вытянутая магнитная конфигурация. Следы хвостовой структуры с токовым слоем и противоположно направленными магнитными полями обнаруживаются на расстояниях порядка шестидесяти земных радиусов. В поперечном сечении плазменный слой имеет в центре меньшую толщину, чем по краям. Интерес представляют области, расположенных в областях с уширением, граничащих с магнитопаузой.

Литература:

1. Harris E.G. «On a Plasma sheath separating regions of oppositely directed magnetic fields», Nuovo Cim. V. 23. pp. 115–119 (1962).
2. Yermolaev Yu.I., Petrukovich A.A., Zelenyi L.M. et al. «Investigation of the structure and dynamics of the plasma sheet: The CORALL Experiment of the INTERBALL Project», Cosmic Research. V. 38, No. 1. pp. 13–19 (2000).

**RECENT OBSERVATIONS ON THE CAPACITANCE-TEMPERATURE
BEHAVIOR IN a-Si:H/c-Si HETEROJUNCTIONS FOR SOLAR CELLS
APPLICATIONS: MODELING AND EXPERIMENT.**

O. Maslova¹, A. Brézard-Oudot², M.-E. Gueunier-Farret², J. Alvarez², J.-P. Kleider²

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Miusskaya sq., 4. Moscow, 125047, Russia*

²*GeePs; CNRS UMR8507; CentraleSupélec ; Univ Paris-Sud ; Sorbonne Universités-UPMC Univ
Paris 06 ; 11 rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon, F-91192 Gif-sur-Yvette Cedex, France
maslova_olga@hotmail.com*

Last years a-Si:H/c-Si heterojunctions (HJ) have received growing attention as an approach which combines wafer and thin film technologies due to their low material consumption and low temperature processing. Several groups have obtained solar cell conversion efficiencies above 22%, with a record at 25.6% achieved by Panasonic [1].

The so-called field effect passivation is one of the strategies that can be used for decreasing the recombination at the interface. Indeed, strong electric field and strong band bending in c-Si can decrease the recombination by repelling one type of carriers. The existence of a strong inversion layer in (n) c-Si at the interface with (p) a-Si:H has been observed in the past years using several kinds of techniques.

In our preceding works [2] the modeling of the temperature dependence of the capacitance of (p) a-Si:H/(n) c-Si solar cells in a wide temperature range, from 100 K up to 400 K, was presented. This strong capacitance increase is much larger than expected from the usual depletion approximation model and can be well reproduced by an explicit analytical calculation of the junction capacitance if one takes into account the existence of the strongly inverted layer at the c-Si surface that was earlier evidenced from other experimental techniques. Then we have extended our calculation to take account of both the (i) a-Si:H buffer layer and the finite thickness of the (p) a-Si:H layer. The latter also implies to consider the contacting electrode, usually indium tin oxide (ITO), and its difference in work function with (p) a-Si:H. We have calculated the capacitance as a function of temperature (C-T) for several sets of parameters where we varied the density of states (DOS) in the (i) a-Si:H layer, the DOS at the Fermi level in (p) a-Si:H, the work function of the electrode, and the thickness of both doped and undoped a-Si:H layers. We show that the introduction of the (i) a-Si:H layer can yield to slightly larger capacitance values and a weaker slope of the C-T curve especially at low temperature. The trends obtained from our new analytical calculations are well reproduced by full numerical simulations. Finally experimental results obtained on high efficiency solar cells indicate that the strong hole inversion layer that exists at room temperature tends to disappear below 150K.

References:

1. K. Masuko, M. Shigematsu, et al, "Achievement of More Than 25% Conversion Efficiency With Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cell", IEEE J. of Photovoltaics Vol. 4, 1433-1435 (2014).
2. O. Maslova, A. Brézard-Oudot, M.E. Gueunier-Farret, J. Alvarez, W. Favre, D. Muñoz, and J. P. Kleider, "Understanding inversion layers and band discontinuities in hydrogenated amorphous silicon / crystalline silicon heterojunctions from the temperature dependence of capacitance", Appl. Phys. Lett. Vol.103, 183907-183910 (2013).

**THE INVESTIGATION OF SOLAR ACTIVITY CYCLES
BY ANALYZING OF TREE RING CHRONOLOGICAL SCALES**

M.G. Nickiforov

Sternberg Astronomy Institute of MSU

michael.nickiforov@gmail.com

The possibility of detection of short periodic cycles and global minima of solar activity by analysis of dendrochronologies is investigated in this paper.

References:

1. Bonani G., Haas H., Hawass Z., Lehner M., Nakhla S., Nolan J., Wenke R. and Wolfli W. «Radiocarbon dates of old and middle kingdom monuments in Egypt». Radiocarbon, Volume 43, Issue 3, Pp. 1147-1430, pp. 1297-1320(24) (May 2001).
2. Chernih N.B., Karpuhin A.A., *Kratkie Soobsheniya Instituta Archeologii* 220, p.127-134 (2006).
3. Chizhevskiy A.L., «Zemnoe eho solnechnih bur». Moskva. (1976).
4. Kolchin B.A., Chernih N.B., «Denrochronologiya vostochnoi Evropi», Moskva (1977).
5. Prokudina V., Rozanov M., 2002. *Izuchenie klimaticheskih anomalij XI-XX vv. Po dendohronologicheskim dannim. / Astronomiya Drevnih Obschestv. Moskva.*
6. Soon W.W.-H, Yaskell S.H. «Maunder Minimum and the Variable Sun-Earth Connection», (2003).
7. Waple A.M., Mann, M.E., Bradley R.S. «Long-term patterns of solar irradiance forcing in model experiments and proxy based surface temperature reconstructions», *Climate Dynamics* 18, 563–578. (2002)
8. Webb G.E., «Tree Rings and Telescopes: The Scientific Career of A.E. Douglass», University of Arizona (1983).
9. NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Paleoclimatology.
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treeinfo.html>

DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD ON THREE-DIMENSIONAL TETRAHEDRAL MESHES. THE USAGE OF THE OPERATOR PROGRAMMING METHOD

M.M. Krasnov, P.A. Kuchugov, M.E. Ladonkina, V.F. Tishkin

Keldysh Institute of Applied Mathematics, Miusskaya sq., 4, Moscow, Russia

kmm@kiam.ru, pkuchugov@gmail.com, ladonkina@imamod.ru, v.f.tishkin@mail.ru

DG is widely used to solve various problems of gas dynamics. This method has discontinuous basic functions and is characterized by high order accuracy of the solution [1]. This method combines different features commonly associated to finite element and to finite difference methods. In particular, it provides high-order accuracy, can easily handle adaptivity strategies, allows an extremely simple treatment of the boundary conditions [2-5]. 3D algorithms on tetrahedron grids for Navier-Stokes equations are proposed in this paper.

Obviously some problems with complex geometry require usage of very detailed grids. Thus DG method has significant computational complexity, the problem of efficient usage of computational resources is very important (?).

Operator programming method allows for compact writing of mathematical formulas in programs and helps porting the programs to parallel architectures, such as NVidia CUDA and Intel Xeon Phi. Earlier the operator programming method was implemented for regular three-dimensional Cartesian grids and tree-dimensional locally adaptive grids. In this work, this method is transferred to threedimensional tetrahedron meshes. This example illustrates the possibility of implementation of the method on arbitrary three-dimensional meshes. Besides, in this work we demonstrate the usage of template meta-programming methods of the C++ programming language to speed-up calculations.

References:

1. B. Cockburn, "An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection – Dominated Problems", Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations (Lecture Notes in Mathematics), V., pp. 151-268 (1998, 1697).
2. M.E. Ladonkina, V.F. Tishkin. "Godunov Method: a Generalization Using Piecewise Polynomial Approximations ", Differential Equations, v.51, № 7, s.895-903, (2015)
3. M.E.Ladonkina, O.A. Neklyudova, V.F.Tishkin, "Application of the RKDG method for gas dynamics problems", Mathematical Models and Computer Simulations, V.6, I 4, pp 397-407, (2014).
4. D.N.Arnold, F. Brezzi, B.Cockburn, L.D. Marini, "Unified analysis of discontinuous Galerkin methods for elliptic problems", SIAM Journal on Numerical Analysis, 29, pp. 1749–1779 (2002).
5. F.Bassi, S.Rebay, A High-Order Accurate Discontinuous Finite Element Method for the Numerical Solution of the Compressible Navier-Stokes Equations. // Journal of Computational Physics 1997, 131, 267–279
6. M.M. Krasnov, Operator library for solving multidimensional mathematical physics problems on CUDA, Matem. Mod., 2015, 27, 3, 109-120.

**THE PROPERTIES OF TENSOR PRODUCTS OF THE IRREDUCIBLE MODULES
OVER N-BIALGEBRAS**

B. Zekovich

*Faculty of Natural Science, Department of Mathematics, University of Montenegro,
Podgorica, Montenegro
e-mail: biljanaz@t-com.me*

In this paper we find semisimple decomposition of the tensor product of n irreducible modules. It is supposed that there is only one irreducible module of dimension >1 in the n -bialgebra. In this case, it is presented a complete description of semisimple decomposition of tensor product of n irreducible modules

References:

1. B. Zekovich, "Initial consideration about tensor-products of the irreducible moduls over n -bialgebras", accepted for publication.
2. B. Zekovich, "Relations between n -ary and binary comodules", Quasigroups and Related systems, 23, 325-332 (2015).
3. V.A. Artamonov, "On semisimple Hopf algebras with few representations of dimension greater than one", Union Matematica Argentina, Vol 51, N 2, pp. 91-105 (2010)
4. S. Dascalescu, Raianu S. Nastasescu, "Hopf algebras, an introduction", Pure and Applied Mathematics: a series of Monographs and Textbooks/235, Marcel Dekker, Inc, NY, BASEL, (2000).