

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS
A.M. Prokhorov Institute of General Physics of RAS
University of Montenegro
Forum of University Professors and Researches of Montenegro
Scientific Journal Mathematica Montisnigri*

***XVIII International Seminar on
MATHEMATICAL MODELS AND MODELING IN
LASER-PLASMA PROCESSES AND ADVANCED SCIENCE
TECHNOLOGIES***

PROGRAM and ABSTRACTS

LPPM3.ru

***29 September — 5 October, 2019
Budva, Montenegro***

The annual International Scientific Interdisciplinary Seminar on Mathematical Models and Modeling in Laser-Plasma Processes and Advanced Science Technologies" (LpPM3) was founded in 2004. During the first five years, the organizers of the Seminar were two institutes of Russian Academy of Sciences: Keldysh Institute of Applied Mathematics and A.M. Prokhorov General Physics Institute. During this period, the scientific theme of the Seminar was devoted to one direction "Mathematical Models and Modeling in Laser-Plasma Processes" and the Seminar was constantly held in Moscow. In 2009, after joining a group of researchers from the University of Montenegro, a new direction was formed, "Mathematical Modeling in Advanced Science Technologies," and the Seminar website <https://lppm3.ru> appeared. Since that time, the Seminar has been constantly held in Montenegro.

Computer processing of the press Olga Koroleva, Moscow, Russia.

ISBN 978-5-98354-053-8 Press: "AP PRINT", Podgorica, Montenegro, 2019

SCIENTIFIC COMMITTEE



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

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



Vice-Chairman - Corresponding Member of RAS, Prof. Dr. sc. Nat. Serge V. Garnov (Russia)

Вице-председатель - Член-корреспондент РАН, 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. Vitaly I. Konov (Russia)

Академик 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)

Organizing Committee
Организационный комитет

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

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

Koroleva O.N. (Russia) – Keldysh Institute of
Applied Mathematics of RAS

Королева О.Н. (Россия) – ИПМ им. М.В.
Келдыша РАН

Zdravko Vukcevic (Montenegro)

Здравко Вукчевич (Черногория)

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

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

Dejana Popovic (Montenegro)

Дзяна Попович (Черногория)

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

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

Tamara Pavicevic (Montenegro)

Тамара Павичевич (Черногория)

Nikola Konatar (Montenegro)

Никола Канатар (Черногория)

CONTENTS

PHOTOGRAPHIC MATERIALS FOR THE 10TH ANNIVERSARY OF THE INTERNATIONAL SEMINAR LPpM ³ IN MONTENEGRO.....	9
PROGRAM.....	30
ABSTRACTS.....	47
PLENARY PRESENTATIONS	
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	
V.I. Mazhukin. The formation of mathematical modeling. To the 100th anniversary of academician A.A. Samarskii	48
D.G. Kochiev, I.A. Shcherbakov, S.V. Garnov. Interaction of microsecond laser pulses with tissues: fundamentals and clinical applications.....	50
A.A. Samokhin, E.V. Shashkov, N.S. Vorob'ev, A.E. Zubko. Recoil pressure behavior during nanosecond laser pulse irradiation of mercury.....	51
B. Luk'yanchuk, Z. Wang, R. Paniagua-Domínguez, A. Bekirov, A.A. Fedyanin. High order Fano resonances and giant magnetic fields in dielectric microspheres.....	53
INVITE PRESENTATIONS	
ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ	
V.P. Veiko, V.A. Shkuratova, G.K. Kostyuk, M.M. Sergeev, R.A. Zakoldaev. Compressed laser-induced microplasma (CLIMP) and its application for fabrication of new optical components	54
A.G. Kaptilny. The study of the thermophysical properties of substances at high pressures and temperatures by the method of electrical explosion of conductors.....	56
O.G. Tsarkova, S.N. Andreev, V.V. Belkov, P.S. Vasileva, N.E. Kondratyev, D.K. Kushnarev. Thermal diameter of the Sun	58
B.P. Rybakin. Computer simulation of the formation of clumps formed by the collision of molecular clouds	60
O.A. Kovyrkina, V.V. Ostapenko. On the accuracy of MUSCL type shock capturing schemes ..	62
M.P. Galanin, V.V. Lukin, A.S. Rodin, D.L. Sorokin. Mathematical simulation of electromagnetic acceleration for solids and media with use of program platform Temetos	64
ORAL PRESENTATIONS	
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	
I.L. Iosilevskiy. Phase freezeout in binodal layer in adiabatically expanding matter in terrestrial and astrophysical applications	68
K.V. Khishchenko. Phase diagram of chromium at high energy densities.....	69
A.A. Aleksashkina, M.M. Demin, V.I. Mazhukin. Determination of the phonon thermal conductivity of copper by molecular dynamics.....	71
O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, M.M. Demin, P.V. Breslavskii. Simulation of heat capacity and thermal conductivity of Si in a wide temperature range	73

V.D. Zvorykin, I.V. Smetanin, A.V. Shutov, N.N. Ustinovskii. Multiple filamentation of TW peak power sub-ps uv laser pulses in a course of a direct amplification in KrF laser chain and propagation in atmospheric air	75
M.V. Mikhaylyuk, E.V. Strashnov. Methods for space anthropomorphic robot control in virtual environment systems	77
S.G. Moiseenko, I.A.Kondratiev, G.S.Bisnovaty-Kogan, M.V.Glushikhina. 3D numerical study of an anisotropic heat transfer in outer layers of magnetized neutron stars.....	79
G.K. Borovin, A.V. Grushevskii, A.G. Tuchin, D.A. Tuchin. Russian exploration of Venus: past and prospects.....	81
E.A. Pavlova. The Features and Management system of the space industry in the Russian Federation.....	83
G.K. Borovin, Yu. F. Golubev, G. S. Zaslavsky, V. A. Stepanyants, A. G. Tuchin. E.L. Akim's huge contribution to the Russian space research.....	84
V.A. Voropaev, G.K. Borovin, E.A. Pavlova, A.I. Streltsov, M.V. Zakhvatkin. The safety of high-orbit satellite spaceflights.....	86
G.K. Borovin, Yu. F. Golubev, A.V. Grushevskii, A. G. Tuchin. Formation of the main methods of the scientific school of V.V. Beletsky studying the rotational motions of artificial satellites and natural celestial bodies.....	87
M.V. Yashina. Metrical Properties of Symmetric Two-dimensional Wolfram Cellular Automata for Image Processing	89
E.N. Bykovskaya, A.V. Shapranov, V.I. Mazhukin. Solution of the Korteweg de Vries equation using an implicit two-layer difference scheme on an euler grid.....	90
M.E. Ladonkina, O.A. Neklyudova, V.V. Ostapenko, V.F. Tishkin. On the accuracy of a combined DG scheme computing solutions with shock waves	92
O.B. Feodoritova, V.T. Zhukov. On a new splitting-based numerical approach for Navier-Stokes equations	94
M.E.Ladonkina, O.A.Nekliudova, V.F.Tishkin. Limiting in discontinuous Galerkin method ...	96
O.A. Kovyrkina, V.V. Ostapenko. On the possibility of constructing WENO-schemes conserving increased accuracy in the areas of shock influence.....	98
R.V. Uskov, K.K. Inozemceva, M.E. Zhukovsky. Weight modification of improbable events registration algorithm in supercomputer simulation of radiation transport	100
B.P. Rybakin, M.N. Kravchenko. Liner form influence on the efficiency of the formation of a cumulative jet in squib	102
A.A. Samokhin. Scientometrics and expert estimations of scientific and trade union activities	104
Ž. Pavićević Hyperbolic variations chord in the points fatou of the bounded holomorphic functions	106
Y.A. Kriksin, V.F. Tishkin. Finite element model of a gasdynamic flow on the discontinuous Galerkin method basis: conservation laws and the second law of thermodynamics	108
O. Olkhovskaya, D. Boykov, S. Grigoriev, A. Boldarev, M. Yakobovskiy, V. Gasilov. Adaptive mesh refinement and dynamic load balance for HPC Multiphysics simulations	110
F.N. Voronin, V.A. Egorova, E.B. Savenkov, M.E. Zhukovskiy. The modeling of radiation-induced thermomechanical effects in the finely dispersed medium.....	112

S.V. Podolyako, S.A. Kazymov, M.B. Markov, S.V. Parotkin, I.A. Tarakanov. On an algorithm of the simulating the proton transport considering the nuclear scattering	114
A.Yu. Popov. Minimum value of the modulus of an analytic function	116
P.S. Aronov, M.P Galanin, A.S. Rodin. Finding optimal iteration parameters for solving problem of elastic bodies contact interaction by means of domain decomposition method	118
V.A. Egorova, M.V. Alekseev, I.A. Tarakanov, R.V. Uskov. The modeling of radiation-induced charge effects in the finely dispersed medium	120
Dušan Jokanović. Relation between McCoy and Armendariz rings	121
B. Zekovich, V.A. Artamonov. Antipode in n - ary bialgebra	122
Romeo Meštrović, Žarko Pavićević. On some topological properties of Privalov spaces on the unit disk	123
Kankaraš Milica, Irina Cristea. Fuzzy reducibility in hypergroups	124
Sanja Jancic Rasovic, Irina Cristea, Jelena Dakic An overview on the theory of hypernear-rings	125
Nikola Konatar. Behavior of the interface between two immiscible fluids in the three-dimensional case	126
Božidar Popović. Generalization of Azzalini's method with application in medicine	127
Marijan Markovic. Characterisation of smooth functions with given growth	128
Lazar Obradovic. On history dependent optimal stopping problems under multiple priors in finance.....	129
Dakić Jelena Momir. An overview of known hyper-power methods for computing of outer inverses and a new general Newton method	130
S.A. Stumpf, A.N. Tcypkin, E.A. Ponomareva, S.E. Putilin, S.V. Smirnov, M.V. Melnik, Yiwen E, S.A. Kozlov, Xi-Cheng Zhang. On experiment and simulation demonstration of a highly efficient terahertz radiation generation in a flat liquid jet	131
V.D. Zvorykin, A.V. Shutov, N.N. Ustinovskii, I.G. Lebo. Multiple filamentation of TW peak power sub-ps uv laser pulses in a course of a direct amplification in KrF laser chain and propagation in atmospheric air	132
B.I. Denker, B.I. Galagan, V. Mashinsky, S. Sverchkov, E. Dianov. Luminescence properties of BI doped (0 – 50)SnO - (100 – 50)GeO ₂ glasses	134
L.I. Ivleva, I.S. Voronina, E.E. Dunaeva, E.E., Lykov, M.E. Doroshenko, A.G. Papashvili. Tm ³⁺ doped non-linear media	135
N.S. Kozlova, A.P. Kozlova, E.V. Zabelina. Near-electrode processes in polar dielectric crystals.....	137
L.V. Klochkova, Yu.N. Orlov, V.F. Tishkin. Description of the ensemble of random trajectories generated by the empirical distribution function, with the help of mathematical modeling on the basis of kinetic equations Fokker-Planck.....	139
I. Starodumov, I. Nizovtseva, Peter Galenko. The PFC model with atomic density fluctuations...	141
Jela Šušić. Extreme points of multidimensional functions.....	143
R.A. Zakoldaev, V.A. Shkuratova, G.K. Kostyuk, M.M. Sergeev, V.P.Veiko. New phase-polarizing elements: fabrication by CLIMP and testing in real optical schemes.....	144
Milenko T. Pikula, Dragana D. Nedić, Milica Č. Bošković. Solution of the inverse boundary problem for the Sturm-Liouville operator with delay.....	145

**TENTH ANNIVERSARY SEMINAR LPpM³ IN
MONTENEGRO**



Participants of the VI International Seminar LPpM3 in 2009. Budva.



Vice Chairman of the program committee prof. Zharko Pavichevich (Montenegro),
Chairman of the program committee prof. V.I. Mazhukin (Russia),
Vice-Chairman of the program committee prof. S.V. Garnov (Russia)



Opening of the Seminar. Chairman of the program committee prof. V.I. Mazhukin, prof. Labud Vukcevic



Prof. V.I. Mazhukin, V.I. Vovchenko, prof. Zarko Pavicevic, prof. S.V. Garnov.

2010. Petrovac VIII International Seminar LPpM³



Participants of the VIII International Seminar LPpM3 in 2010. Petrovac.



Opening of the Seminar.



Report prof. A.A. Rukhadze, A.M. Prokhorova Institute of General Physics of RAS



Montenegrin Monastery Moracha. Participants of the Seminar on excursions.



Closing of the Seminar.

2011. Petrovac IX International Seminar LPpM³



Participants of the IX International LPpM³ Seminar in 2011. Petrovac.



Opening of the Seminar. Left: welcoming speech by prof. A.A. Rukhadze.
Right: Corresponding Member Ran prof. V.I. Konov



School of young scientists. Professors and students.



Seminar participants on excursions.



Work done, have your fun. Sport is the best relaxation.



Participants of the X International LPpM3 Seminar in 2012. Petrovac.



Photo at the top. Prof. Zarko Pavicevic opens the Seminar. Left, prof. V.I. Mazhukin, on the right are representatives of the Russian Embassy in Montenegro. Photo below left: prof. S.V. Garnov. Photo below right: prof. V.I. Mazhukin presents the journal *Mathematica Montisnigri*.



The seminar. Behind the podium prof. S.S. Alimpiev (A.M. Prokhorov GPI of RAS).



Photo above: excursion to Dubrovnik.

Photo below: prof. Zarko Pavicevic, prof. V.I. Mazhukin, prof. A.A. Khachaturov.



Participants of the XI International LPpM3 Seminar in 2013. Budva.



Opening of the XI International Seminar LPpM3 in 2013.

2014. Budva XII International Seminar LPpM³



Participants of the XII International Seminar LPpM3 in 2014. Budva.



The opening of the XII International Seminar LPpM3 in 2014.



The seminar. The audience and speakers (left to right): prof. M.P. Galanin (Keldysh IPM of RAS), prof. M.V. Mikhailuk (SRISA of RAS), A.G. Kaptilny (JIHT of RAS), prof. I.N. Zvestovskaya (Lebedev PhI of RAS, MPhI)

2015. Petrovac XIII International Seminar LPpM³







2016. Petrovac XV International Seminar LPpM³

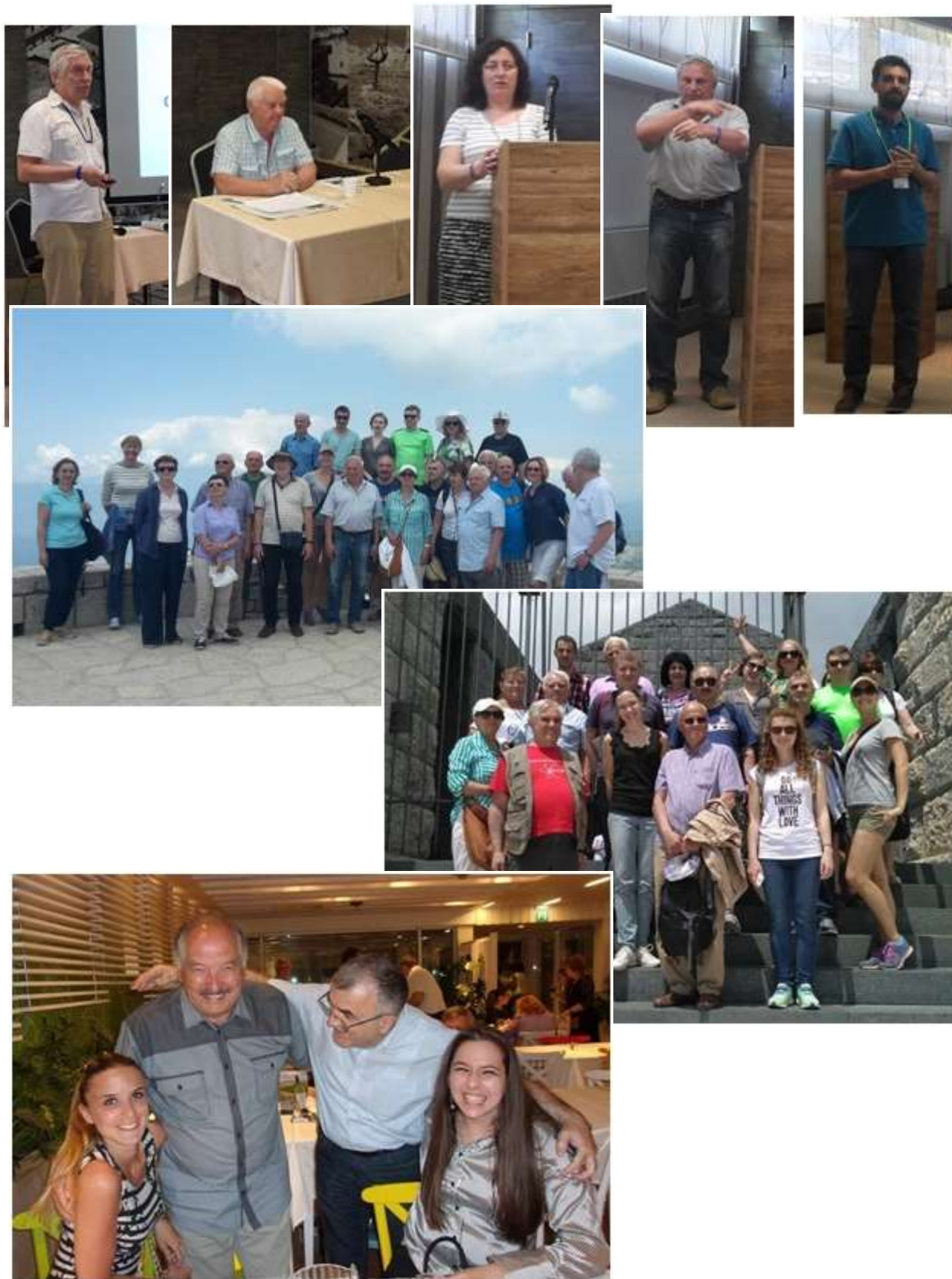






2017. Petrovac XVI International Seminar LPpM³





2018. Budva XVII International Seminar LPpM³





PROGRAM

Sunday, September 29	
10.00-17.00	Registration, Check-in at Hotel
19.00	WELCOME PARTY

Monday, September 30	
9^{15} - 10^{00}	<p>Opening ceremony</p> <p>Prof. Dr. sc. Nat. V.I. Mazhukin, Chairman</p> <p>XVIII Seminar. The goals and objectives of the Seminar <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p> <p><i>Photo for memory</i></p>
10^{00} - 10^{45}	<p>Plenary Presentation</p> <p>V.I. Mazhukin</p> <p>The formation of mathematical modeling. To the 100th anniversary of academician A.A. Samarskii <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
10^{45} - 11^{15}	<i>Coffee break</i>
11^{15} - 12^{00}	<p>Plenary Presentation</p> <p>D.G. Kochiev, I.A. Shcherbakov, S.V. Garnov</p> <p>Interaction of microsecond laser pulses with tissues: fundamentals and clinical applications <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12^{00} - 12^{45}	<p>Plenary Presentation</p> <p>A.A. Samokhin, E.V. Shashkov, N.S. Vorob'ev, A.E. Zubko.</p> <p>Recoil pressure behavior during nanosecond laser pulse irradiation of mercury <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12^{45} - 13^{00}	<p>Oral Presentation</p> <p>I.L. Iosilevskiy</p> <p>Phase freezeout in binodal layer in adiabatically expanding matter in terrestrial and astrophysical applications <i>Joint Institute for High Temperature RAS, Moscow, Russia</i></p>
13^{00} - 14^{00}	<i>Lunch time</i>

14 ⁰⁰ -14 ⁴⁵	<p>Plenary Presentation</p> <p>B. Luk’yanchuk¹, Z. Wang², R. Paniagua-Domínguez³, A. Bekirov¹, A.A. Fedyanin¹</p> <p>High order Fano resonances and giant magnetic fields in dielectric microspheres</p> <p>¹<i>Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia</i> ²<i>School of Electronic Engineering, Bangor University, Bangor, UK</i> ³<i>Institute of Materials Research and Engineering, A*STAR, Singapore</i></p>
14 ⁴⁵ -15 ¹⁰	<p>Invite Presentation</p> <p>V.P Veiko, V.A. Shkuratova, G.K. Kostyuk, M.M. Sergeev, R.A. Zakoldaev</p> <p>Compressed laser-induced microplasma (CLIMP) and its application for fabrication of new optical components</p> <p><i>ITMO University, St. Petersburg, Russia</i></p>
15 ¹⁰ -15 ³⁵	<p>Invite Presentation</p> <p>A.G. Kaptilny</p> <p>The study of the thermophysical properties of substances at high pressures and temperatures by the method of electrical explosion of conductors</p> <p><i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ³⁵ -15 ⁵⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>K.V. Khishchenko</p> <p>Phase diagram of chromium at high energy densities</p> <p><i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ⁵⁰ -16 ⁰⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>A.A. Aleksashkina¹, M.M. Demin¹, A.V. Mazhukin^{1,2}</p> <p>Determination of the phonon thermal conductivity of copper by molecular dynamics</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Russia, Moscow</i> ²<i>National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia</i></p>
16 ⁰⁵ -16 ⁴⁰	Coffee break
16 ⁴⁰ -16 ⁵⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>O.N. Koroleva^{1,2}, A.V. Mazhukin^{1,2}, M.M. Demin¹, P.V. Breslavskii¹</p> <p>Simulation of heat capacity and thermal conductivity of Si in a wide temperature range</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia</i></p>

16 ⁵⁵ -17 ¹⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.D. Zvorykin^{1,2}, I.V. Smetanin¹, A.V. Shutov¹, N.N. Ustinovskii¹</p> <p style="text-align: center;">Multiple filamentation of TW peak power sub-ps uv laser pulses in a course of a direct amplification in KrF laser chain and propagation in atmospheric air</p> <p style="text-align: center;">¹<i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	POSTER SECTION

Tuesday, October 1	
RUSSIAN SPACE	
9^{30} - 9^{55}	Invite Presentation O.G. Tsarkova¹ , S.N. Andreev ² , V.V. Belkov ¹ , P.S. Vasileva ¹ , N.E. Kondratyev ¹ , D.K. Kushnarev ¹ Thermal diameter of the Sun ¹ <i>School of mathematics and physics no. 2007, Moscow</i> ² <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow</i>
9^{55} - 10^{20}	Invite Presentation B.P. Rybakin Computer simulation of the formation of clumps formed by the collision of molecular clouds ¹ <i>Scientific Research Institute for System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i> ² <i>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia</i>
10^{20} - 10^{35}	Oral Presentation M.V. Mikhaylyuk , E.V. Strashnov Methods for space anthropomorphic robot control in virtual environment systems ¹ <i>Scientific Research Institute for System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i>
10^{35} - 10^{50}	Oral Presentation S.G. Moiseenko¹ , I.A.Kondratiev ¹ , G.S.Bisnovaty-Kogan ^{1,2} , M.V.Glushikhina ¹ 3D numerical study of an anisotropic heat transfer in outer layers of magnetized neutron stars ¹ <i>Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia</i> ² <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia</i>
10^{50} - 11^{05}	Oral Presentation G.K. Borovin , A.V. Grushevskii, A.G. Tuchin, D.A. Tuchin Russian exploration of Venus: past and prospects ¹ <i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS Moscow, Russia</i>
11^{05} - 11^{30}	Coffee break

11 ³⁰ -11 ⁴⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>E.A. Pavlova</p> <p>The Features and Management system of the space industry in the Russian Federation</p> <p><i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS Moscow, Russia</i></p>
11 ⁴⁵ -12 ⁰⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>G.K. Borovin, Yu. F. Golubev, G. S. Zaslavsky, V. A. Stepanyants, A. G. Tuchin</p> <p>E.L. Akim's huge contribution to the Russian space research</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12 ⁰⁰ -12 ¹⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>V.A. Voropaev, G.K. Borovin, E.A. Pavlova, A.I. Streltsov, M.V. Zakhvatkin</p> <p>The safety of high-orbit satellite spaceflights</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12 ¹⁵ -12 ³⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>G.K. Borovin, Yu. F. Golubev, A.V. Grushevskii, A. G. Tuchin</p> <p>Formation of the main methods of the scientific school of V.V. Beletsky studying the rotational motions of artificial satellites and natural celestial bodies</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12 ³⁰ -12 ⁴⁵	<p>Invite Presentation</p> <p>O.A. Kovyarkina¹, V.V. Ostapenko^{1,2}</p> <p>On the accuracy of MUSCL type shock capturing schemes</p> <p>¹<i>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk, Russia</i></p> <p>²<i>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia</i></p>
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>M.V. Yashina</p> <p>Metrical Properties of Symmetric Two-dimensional Wolfram Cellular Automata for Image Processing</p> <p><i>Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Lunch time

14 ⁰⁰ -14 ²⁵	<p>Invite Presentation</p> <p>M.P. Galanin, V.V. Lukin, A.S. Rodin, D.L. Sorokin</p> <p>Mathematical simulation of electromagnetic acceleration for solids and media with use of program platform Temetos</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
14 ²⁵ -14 ⁴⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>E.N. Bykovskaya¹, A.V. Shapranov^{1,2}, V.I. Mazhukin^{1,2}</p> <p>Solution of the Korteweg de Vries equation using an implicit two-layer difference scheme on an euler grid</p> <p>¹<i>M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Russia, Moscow</i></p>
14 ⁴⁰ -14 ⁵⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>M.E. Ladonkina^{1,2}, O.A. Neklyudova¹, V.V. Ostapenko^{2,3}, V.F. Tishkin^{1,2}</p> <p>On the accuracy of a combined DG scheme computing solutions with shock waves</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk</i> ³<i>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia</i></p>
14 ⁵⁵ -15 ¹⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>O.B. Feodoritova, V.T. Zhukov</p> <p>On a new splitting-based numerical approach for Navier-Stokes equations</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ¹⁰ -15 ²⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>M.E.Ladonkina, O.A.Nekliudova, V.F.Tishkin</p> <p>Limiting in discontinuous Galerkin method</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ²⁵ -15 ⁴⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>R.V. Uskov, K.K. Inozemceva, M.E. Zhukovsky</p> <p>Weight modification of improbable events registration algorithm in supercomputer simulation of radiation transport</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ⁴⁰ -15 ⁵⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>O.A. Kovyorkina¹, V.V. Ostapenko^{1,2}</p> <p>On the possibility of constructing WENO-schemes conserving increased accuracy in the areas of shock influence</p>

	<p>¹<i>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk, Russia</i> ²<i>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia</i></p>
15 ⁵⁵ -16 ¹⁰	<p>Oral Presentation B.P. Rybakin¹, M.N. Kravchenko² Liner form influence on the efficiency of the formation of a cumulative jet in squib ¹<i>Lomonosov Moscow State University, Moscow</i> ²<i>Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow</i></p>
16 ¹⁰ -16 ²⁵	<p>Oral Presentation Milenko T. Pikula¹, Dragana D. Nedić², Milica Č. Bošković³ Solution of the inverse boundary problem for the Sturm-Liouville operator with delay ¹<i>University of East Sarajevo, Faculty of Philosophy Pale</i> ²<i>University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering Doboj</i> ³<i>University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering</i></p>
16 ²⁵ -16 ⁴⁰	Coffee break
16 ⁴⁰ -18 ⁰⁰	THEMATIC HEADING "SCIENCE LIFE" ROUND-TABLE DISCUSSION
	<p>A.A. Samokhin Scientometrics and expert estimations of scientific and trade union activities <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	POSTER SECTION

Wednesday, October 2	
8 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	SOCIAL PROGRAM

Thursday, October 3	
9^{30} - 9^{45}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Ž. Pavićević</p> <p>Hyperbolic variations chord in the points fatou of the bounded holomorphic functions <i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI , Moscow, Russia</i></p>
9^{45} - 10^{00}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Y.A. Kriksin, V.F. Tishkin</p> <p>Finite element model of a gasdynamic flow on the discontinuous Galerkin method basis: conservation laws and the second law of thermodynamics <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
10^{00} - 10^{15}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p>O. Olkhovskaya, D. Boykov, S. Grigoriev, A. Boldarev, M. Yakobovskiy, V. Gasilov Adaptive mesh refinement and dynamic load balance for HPC Multiphysics simulations <i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia</i></p>
10^{15} - 10^{30}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p>F.N. Voronin, V.A. Egorova, E.B. Savenkov, M.E. Zhukovskiy The modeling of radiation-induced thermomechanical effects in the finely dispersed medium <i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia</i></p>
10^{30} - 10^{45}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p>S.V. Podolyako, S.A. Kazymov, M.B. Markov, S.V. Parotkin, I.A. Tarakanov On an algorithm of the simulating the proton transport considering the nuclear scattering <i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia</i></p>
10^{45} - 11^{00}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation A.Yu. Popov</p> <p>Minimum value of the modulus of an analytic function <i>Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia</i></p>

11 ⁰⁰ -11 ³⁰	Coffee break
11 ³⁰ -11 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">P.S. Aronov^{1,2}, M.P Galanin^{1,2}, A.S. Rodin^{1,2}</p> <p style="text-align: center;">Finding optimal iteration parameters for solving problem of elastic bodies contact interaction by means of domain decomposition method</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh institute of applied mathematics RAS , Moscow, Russia</i> ²<i>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia</i></p>
11 ⁴⁵ -12 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.A. Egorova, M.V. Alekseev, I.A. Tarakanov, R.V. Uskov</p> <p style="text-align: center;">The modeling of radiation-induced charge effects in the finely dispersed medium</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh institute of applied mathematics RAS , Moscow, Russia</i></p>
12 ⁰⁰ -12 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Jokanović Dušan</p> <p style="text-align: center;">Relation between McCoy and Armendariz rings</p> <p style="text-align: center;"><i>Bosnia i Hercegovina University of East Sarajevo, Production and Management Faculty Trebinje</i></p>
12 ¹⁵ -12 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">B. Zekovich¹, V.A. Artamonov²</p> <p style="text-align: center;">Antipode in n - ary bialgebra</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Faculty of Natural Science, Department of Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i> ²<i>Department of Algebra, Faculty of Mechanics and Mathematics, Moscow State University, Moscow, Russia</i></p>
12 ³⁰ -12 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Romeo Meštrović¹, Žarko Pavićević^{2,3}</p> <p style="text-align: center;">On some topological properties of Privalov spaces on the unit disk</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Maritime Faculty Kotor, University of Montenegro, Kotor, Montenegro</i> ²<i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;</i> ³<i>National Research Nuclear University MEPhI , Moscow, Russia</i></p>
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Kankaraš Milica¹, Irina Cristea²</p> <p style="text-align: center;">Fuzzy reducibility in hypergroups</p> <p style="text-align: center;">¹<i>University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i> ²<i>University of Nova Gorica, Slovenia</i></p>

13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Lunch time
14 ⁰⁰ -14 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Sanja Jancic Rasovic¹, Irina Cristea², Jelena Dakic¹</p> <p style="text-align: center;">An overview on the theory of hypernear-rings</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p> <p style="text-align: center;">²<i>Centre for Systems and Information Tecnologies, University of Nova Gorica, Slovenia</i></p>
14 ¹⁵ -14 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Nikola Konatar</p> <p style="text-align: center;">Behavior of the interface between two immiscible fluids in the three-dimensional case</p> <p style="text-align: center;"><i>Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
14 ³⁰ -14 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Božidar Popović</p> <p style="text-align: center;">Generalization of Azzalini's method with application in medicine</p> <p style="text-align: center;"><i>Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
14 ⁴⁵ -15 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Marijan Markovic</p> <p style="text-align: center;">Characterisation of smooth functions with given growth</p> <p style="text-align: center;"><i>Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Lazar Obradovic</p> <p style="text-align: center;">On history dependent optimal stopping problems under multiple priors in finance</p> <p style="text-align: center;"><i>Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
15 ¹⁵ -15 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Dakić Jelena Momir</p> <p style="text-align: center;">An overview of known hyper-power methods for computing of outer inverses and a new general Newton method</p> <p style="text-align: center;"><i>University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>

15 ³⁰ -16 ⁰⁰	<i>Coffee break</i>
16 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	THEMATIC HEADING "EDUCATION: RESEARCH AND DEVELOPMENT" ROUND-TABLE DISCUSSION
	V.I. Mazhukin¹, Ž. Pavićević² <i>¹Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> <i>²University of Montenegro, Montenegro</i>
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	POSTER SECTION

Friday, October 4	
9^{30} - 9^{45}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">S.A. Stumpf¹, A.N. Tcypkin¹, E.A. Ponomareva¹, S.E. Putilin¹, S.V. Smimov¹, M.V. Melnik¹, Yiwen E², S.A. Kozlov¹, Xi-Cheng Zhang²</p> <p style="text-align: center;">On experiment and simulation demonstration of a highly efficient terahertz radiation generation in a flat liquid jet</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Department of Photonics and Optical Information Technology, ITMO University, Saint Petersburg, Russia</i> ²<i>The Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, USA</i></p>
9^{45} - 10^{00}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.D. Zvorykin^{1,2}, A.V. Shutov¹, N.N. Ustinovskii¹, I.G. Lebo³</p> <p style="text-align: center;">Multiple filamentation of TW peak power sub-ps uv laser pulses in a course of a direct amplification in KrF laser chain and propagation in atmospheric air</p> <p style="text-align: center;">¹<i>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i> ³<i>Russian Technological University "MIREA", Moscow, Russia</i></p>
10^{00} - 10^{15}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">B.I. Denker¹, B.I. Galagan¹, V. Mashinsky², S. Sverchkov¹, E. Dianov²</p> <p style="text-align: center;">Luminescence properties of BI doped (0 – 50)SnO - (100 – 50)GeO₂ glasses</p> <p style="text-align: center;">¹<i>A.M.Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>Fiber Optics Research Center of RAS, Moscow, Russia</i></p>
10^{15} - 10^{30}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">L.I. Ivleva, I.S. Voronina, E.E. Dunaeva, E.E., Lykov, M.E. Doroshenko, A.G. Papashvili</p> <p style="text-align: center;">Tm³⁺ doped non-linear media</p> <p style="text-align: center;"><i>Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
10^{30} - 10^{45}	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">N.S. Kozlova, A.P. Kozlova, E.V. Zabelina</p> <p style="text-align: center;">Near-electrode processes in polar dielectric crystals</p> <p style="text-align: center;"><i>NUST MISiS, Moscow, Russia</i></p>

10^{45} - 11^{00}	<p>Oral Presentation</p> <p>L.V. Klochkova, Yu.N. Orlov, V.F. Tishkin</p> <p>Description of the ensemble of random trajectories generated by the empirical distribution function, with the help of mathematical modeling on the basis of kinetic equations Fokker-Planck</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
11^{00} - 11^{30}	<i>Coffee break</i>
11^{00} - 11^{15}	<p>Oral Presentation</p> <p>I. Starodumov¹, I. Nizovtseva¹, Peter Galenko²</p> <p>The PFC model with atomic density fluctuations</p> <p>¹ <i>Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modeling, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia</i></p> <p>² <i>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Physikalisch-Astronomische Fakultät, Jena, Germany</i></p>
11^{15} - 11^{30}	<p>Oral Presentation</p> <p>Jela Šušić</p> <p>Extreme points of multidimensional functions</p> <p><i>Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro</i></p>
11^{30} - 11^{45}	<p>Oral Presentation</p> <p>R.A. Zakoldaev, V.A. Shkuratova, G.K. Kostyuk, M.M. Sergeev, V.P. Veiko</p> <p>New phase-polarizing elements: fabrication by CLIMP and testing in real optical schemes</p> <p><i>ITMO University, St.Petersburg, Russia</i></p>
SUMMING. CLOSING of the XVII INTERNATIONAL SEMINAR	
13.00-14.00	<i>Lunch time</i>
BANQUET, CLOSING SPEECH	

Saturday, October 5	
Departure	

ABSTRACTS

The genesis of mathematical modeling.

To the 100th anniversary of academician A.A. Samarskii.

V.I. Mazhukin

Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS

100 years have passed since the birth of the outstanding Soviet and Russian scientist, academician of the USSR Academy of Sciences and the Russian Academy of Sciences Alexander Andreevich Samarskii. Scientific activity of academician A.A. Samarskii is firmly connected with the Keldysh Institute of Applied Mathematics of AS of USSR and the Russia and the Institute of Mathematical Modeling of Russian Academy of Sciences, which he created and headed. A brilliant scientist and an excellent organizer, he laid the potential to preserve the world level of Russian science in the most important field of mathematical modeling for our country. Academician A.A. Samarskii is the founder of the Soviet and Russian schools of mathematical modeling, the creator of the fundamental general theory of difference schemes [1]. Based on a synthesis of many years of experience in solving applied problems A.A. Samarsky formulated a new methodology for scientific research, which he proposed to call Mathematical Modeling. The new definition was supplemented by a simple and capacious interpretation of "Model - Algorithm - Program". Understanding the prospects of the methodology of Mathematical Modeling, the academician introduced a more capacious and universal concept of "Computational Experiment" [2]. These approaches are widely used in applied problems [2], including laser thermonuclear fusion, magnetic confinement of high-temperature plasma, study of non-equilibrium laser plasma of arbitrary density, laser processing and ablation of materials, creation of materials with predetermined properties, problems of gas-hydrodynamics and others.

The report analyzes the achievements and prospects of development of mathematical modeling and computational experiment at present.

Acknowledgements: This work was supported by RFBR (project № 19-07-01001).

References:

- [1] A.A. Samarskii, *The Theory of Difference Schemes*, New York: Marcel Dekker, Inc. (2001).
- [2] B.N. Chetverushkin, A.I. Aptekarev, V.I. Mazhukin, O.N. Koroleva, M.M. Demin, A.V. Mazhukin, Life long scientific feat. On the occasion of centenary of the birth of academician of RAS A.A. Samarskii, *Math. Montis.*, 44, 144-169 (2019)

Становление математического моделирования.

К 100-летию академика А.А. Самарского

В.И. Мажукин

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося советского и российского учёного, академика Академии Наук СССР и Российской Академии Наук Александра Андреевича Самарского. Научная деятельность академика А.А. Самарского прочно связана с Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР и РАН и Институтом математического моделирования РАН, который он создал и возглавлял. Блестящий ученый и прекрасный организатор, он заложил потенциал, позволивший сохранить мировой уровень российской науки в важнейшей для нашей страны области математического моделирования. Академик А.А. Самарский является основоположником советской и российской школы математического моделирования, создателем фундаментальной общей теории разностных схем [1]. На основе обобщения многолетнего опыта решения прикладных задач А.А. Самарский сформулировал новую методологию научных исследований, которую предложил назвать Математическим моделированием. Новое определение было дополнено простой и ёмкой трактовкой "Модель - Алгоритм - Программа". Понимая перспективность методологии Математического моделирования, академик ввел более емкое и универсальное понятие "Вычислительный эксперимент"[2]. Эти подходы нашли широкое распространение в прикладных проблемах [2], среди которых лазерный термоядерный синтез, магнитное удержание высокотемпературной плазмы, исследование неравновесной лазерной плазмы произвольной плотности, технологии лазерной обработки и абляции материалов, создание материалов с наперед заданными свойствами, проблемы газо-гидродинамики и другие.

В докладе анализируются достижения и перспективы развития математического моделирования и вычислительного эксперимента в настоящее время.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-07-01001.

Литература:

[1] A.A. Samarskii, The Theory of Difference Schemes, New York: Marcel Dekker, Inc. (2001).

[2] B.N. Chetverushkin, A.I. Aptekarev, V.I. Mazhukin, O.N. Koroleva, M.M. Demin, A.V. Mazhukin, Life long scientific feat. On the occasion of centenary of the birth of academician of RAS A.A. Samarskii, Math. Montis., 44, 144-169 (2019).

**INTERACTION OF MICROSECOND LASER PULSES WITH TISSUES:
FUNDAMENTALS AND CLINICAL APPLICATIONS.**

D.G. Kochiev, I.A. Shcherbakov, S.V. Garnov.

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
38 Vavilov street., Moscow, 119991, Russian Federation.
dkochiev@gmail.com*

The report presents the results of studies of a laser-plasma source as an effective tool used in surgery and treatment of urolithiasis disease.

RECOIL PRESSURE BEHAVIOR DURING NANOSECOND LASER PULSE IRRADIATION OF MERCURY

A.A. Samokhin, E.V. Shashkov, N.S. Vorob'ev, A.E. Zubko

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
ul. Vavilova 38, Moscow, 119991 Russia
e-mail: asam40@mail.ru*

Experimental results on pressure behavior generated and detected in liquid mercury with piezo-transducer during nanosecond laser pulse irradiation are presented. The pressure curves show (fig. 1) transformation from thermoacoustic (curve 1a) to vaporization (curves 2a, 1b) signals. Similar to fig. 1a transformation was observed and calculated earlier in [1,2] at corresponding low fluences E . At higher fluences curves 2b, 1c, 2c, 1d and 2d demonstrate pressure evolution peculiarities (additional broadening and forward shift) which are probably due to metal-dielectric transition in near-critical region of mercury.

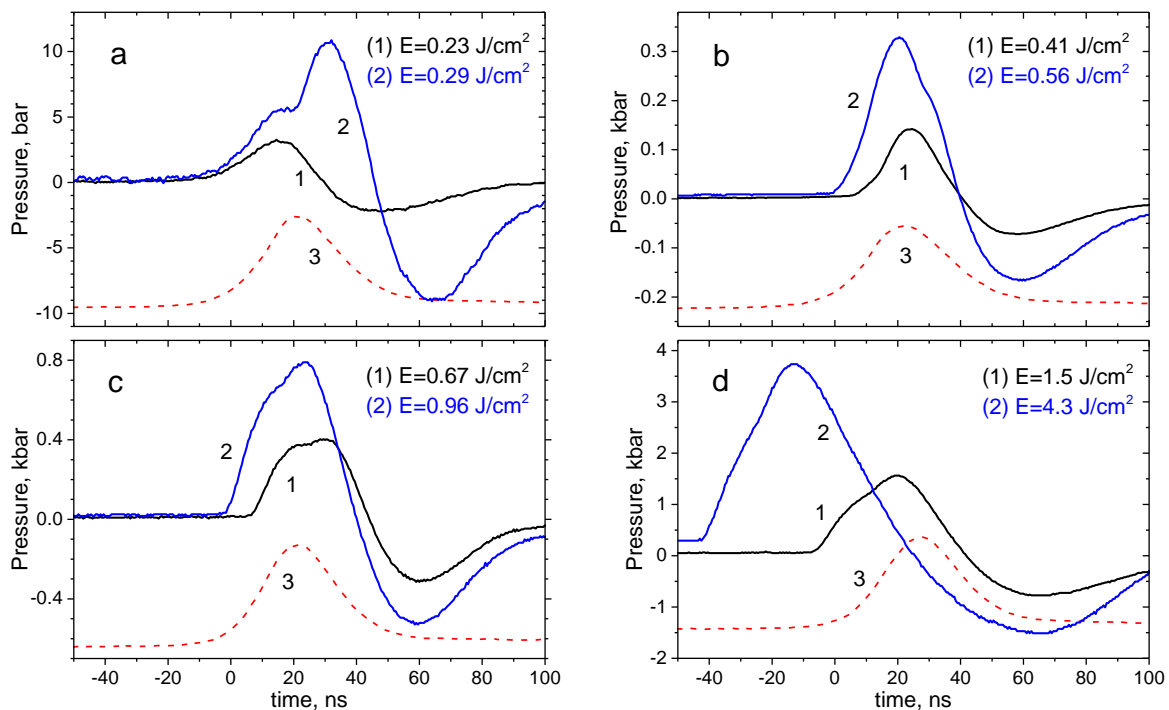


Fig.1. Pressure (1,2) and laser pulse (3) curves at different fluences $E = 0.23\text{--}4.3\text{ J/cm}^2$ (a–d).

References:

1. I.A. Veselovskii, B.M. Zhiryakov, N.I. Popov, A.A. Samokhin, "The photoacoustic effect and phase transitions in semiconductors and metals irradiated by laser pulses", in *Effect of laser radiation on absorbing condensed matter*, Nova Science Publishers, ed. by V.B. Fedorov, (1990).
2. A.E. Zubko, A.A. Samokhin, "Modeling of thermoacoustic and evaporation pressure signals in absorbing liquids irradiated with nanosecond laser pulses", *Mathematica Montisnigri*, Vol. 36, 78–85 (2016).

ПОВЕДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТДАЧИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ РТУТИ НАНОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

А.А. Самохин, Е.В. Шашков, Н.С. Воробьев, А.Е. Зубко

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва, ул. Вавилова, 38, 119991 Россия
e-mail: asam40@mail.ru*

Представлены экспериментальные результаты регистрации с помощью пьезодатчика поведения давления отдачи, возникающего в жидкой ртути при воздействии наносекундного лазерного импульса. Кривые давления показывают (рис. 1) трансформацию термоакустического (кривая 1а) сигнала в испарительный (кривые 2а, 1b). Подобное поведение (рис. 1а) наблюдалось и анализировалось ранее в [1,2] при соответствующих малых плотностях энергии E . При увеличении E кривые 2b, 1c, 2c, 1d и 2d демонстрируют особенности поведения импульсов давления (дополнительное уширение и смещение вперед), которые, предположительно, могут быть обусловлены переходом металл-диэлектрик в околоскритической области ртути.

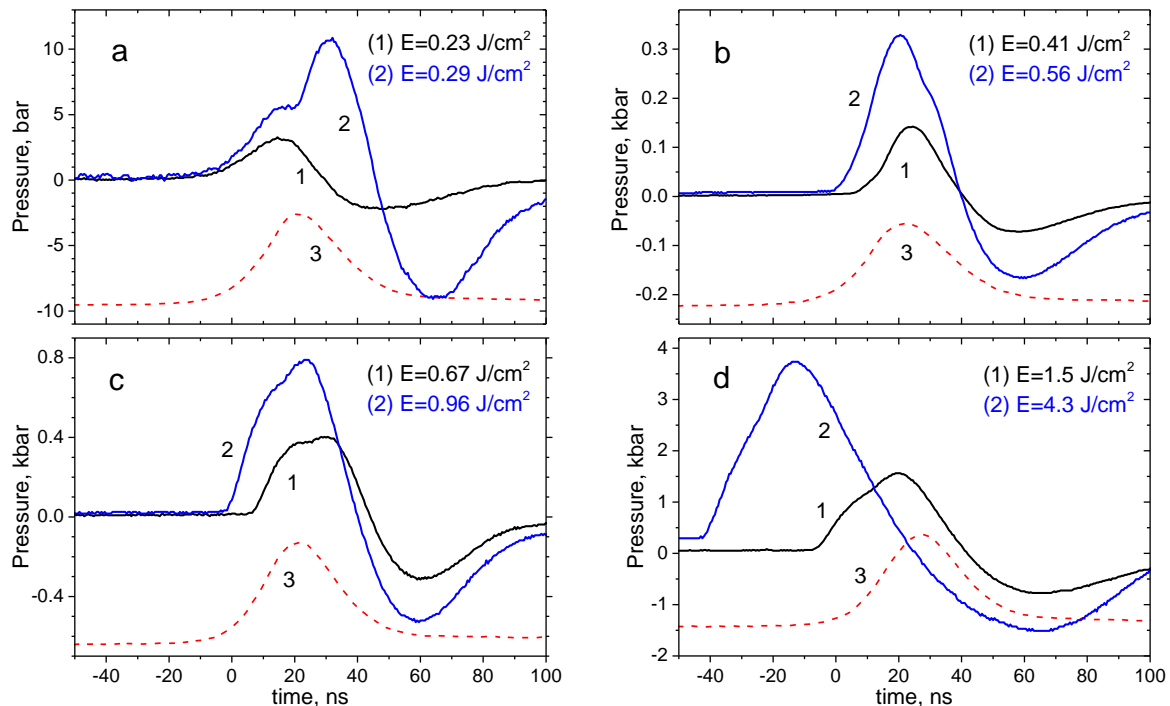


Рис.1. Сигналы давления (1,2) и лазерного импульса (3) при различных $E = 0.23\text{--}4.3$ Дж/см² (a–d).

Литература:

1. I.A. Veselovskii, B.M. Zhiryakov, N.I. Popov, A.A. Samokhin, "The photoacoustic effect and phase transitions in semiconductors and metals irradiated by laser pulses", in Effect of laser radiation on absorbing condensed matter, Nova Science Publishers, ed. by V.B. Fedorov, (1990).
2. A.E. Zubko, A.A. Samokhin, "Modeling of thermoacoustic and evaporation pressure signals in absorbing liquids irradiated with nanosecond laser pulses", Mathematica Montisnigri, Vol. 36, 78–85 (2016).

HIGH ORDER FANO RESONANCES AND GIANT MAGNETIC FIELDS IN DIELECTRIC MICROSPHERES

Boris Luk'yanchuk^{1*}, Zengbo Wang², Ramón Paniagua-Domínguez³, Arlen Bekirov¹,
Andrey A. Fedyanin¹

¹Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

²School of Electronic Engineering, Bangor University, Dean Street, Bangor, Gwynedd, LL57 1UT, UK

³Institute of Materials Research and Engineering, A*STAR (Agency for Science, Technology and Research), 2 Fusionopolis Way, 138634, Singapore

e-mail of corresponding author* lukiyanichuk@nanolab.phys.msu.ru

The weakly dissipating dielectric spheres (glass, quartz, etc.) permit to realize high order Fano resonances for internal Mie modes. These resonances for specific values of the size parameter yield field-intensity enhancement factors on the order of 10^4 – 10^7 , which can be directly obtained from analytical calculations. In the Fig. 1, one can see two “bright electric points” within the particle, associated with very large field intensities (around 40 thousands) in the x-z plane. The presented field distributions correspond to a particle with refractive index $n = 1.5$ at the super resonance condition of the $\ell = 35$ multipolar order, excited for a size parameter $q = 26.9416$. These “super-resonances” provides magnetic nanojets with giant magnetic fields, which is attractive for many applications.

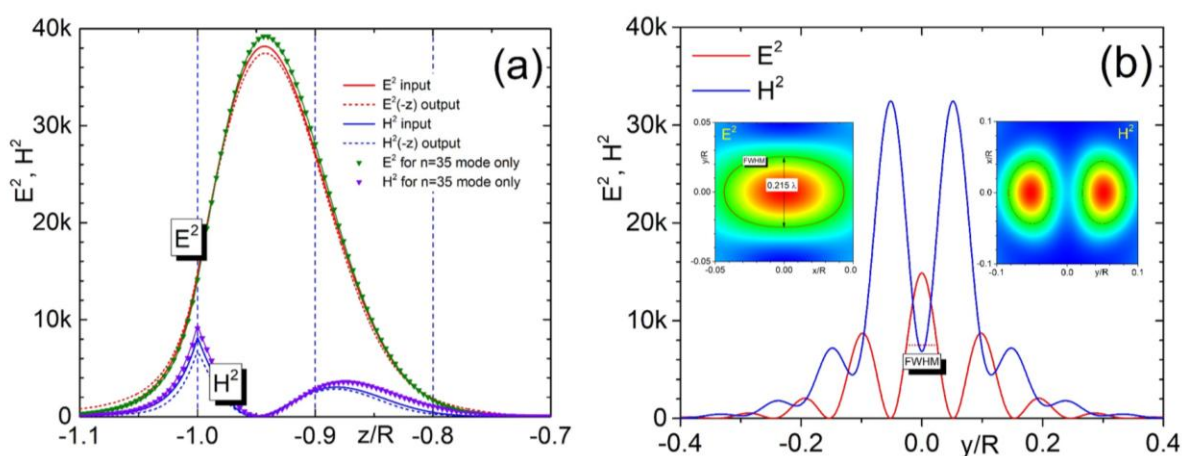


Fig.1. (a) Distribution of the electric E^2 and magnetic H^2 fields along the z-axis passing through the particle centre and near the particle edges (where the field intensity localizes). The electric field in x-z plane is localized in two “bright points” near the input and the output windows on the surface of particle. (b) Distribution of the electric E^2 and magnetic H^2 fields along the y-axis at the output plane at $R = z$. 2D field distributions within these planes are shown in the insets. The solid lines in the 2D insets indicate the position of the full width at half maximum (FWHM). One can see high light localization along the y-direction: for electric field the FWHM is \square 0.215λ , less than the diffraction limit given by 0.333λ .

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Ministry of Education and Science (#14.W03.31.0008).

References: Wang Z. B., Luk'yanchuk B. et al., “Super-resonances in microspheres: extreme effects in field localization”, arXiv:1906.09636 [physics. optics], 23 Jun 2019

COMPRESSED LASER-INDUCED MICROPLASMA (CLIMP) AND ITS APPLICATION FOR FABRICATION OF NEW OPTICAL COMPONENTS

V.P. Veiko*, V.A. Shkuratova, G.K. Kostyuk, M.M. Sergeev, R.A. Zakoldaev

ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, St. Petersburg 197101, Russia

**e-mail: vadim.veiko@mail.ru*

Scientific and applied interest in laser plasma (LP) don't fade away for many decades. LP is essentially a "converter of laser energy" into other ranges of radiation, forms of matter and motion. This is confirmed by such applications of LP as the generation of soft X-rays, laser propulsion, nanoparticle synthesis, coating/deposition of thin films, shock metal hardening, etc. However, in this talk, the focus is on a new variety of LP, namely, the plasma produced by laser ablation of a highly absorbing target contacting with a transparent solid medium. This kind of LP we will call "compressed laser-induced microplasma" (CLIMP).

CLIMP is basically a "focused" bunch of excited particles (electrons, ions, atoms and molecules), and its temporal and spatial parameters are completely determined by the characteristics of the laser beam and the parameters of the target together with the transparent material (Figure a). The transparent material limiting the expansion of the LP is under the action of controlled CLIMP that resulting in its precise and effective processing.

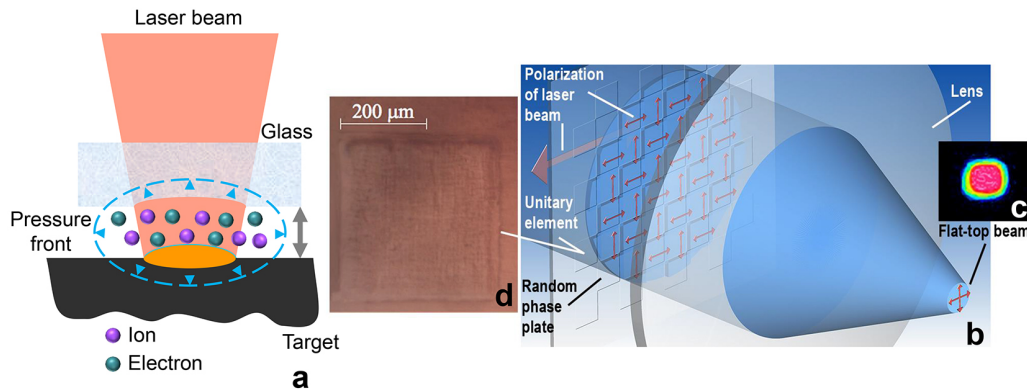


Fig.1. CLIMP process (a). RPP schematicall view (b), test (c) and micro-photo (d).

At the same time it is an actual task to find a new modern method for creation of structured light beams with phase and polarization singularities features (Figure b). This can be crucial for non-uniaxial stress mapping, determination of the regions with phase separation, probing distribution of nanoparticles within thin films, interface characterization, high resolution microscopy, laser trapping and laser cooling, laser processing of thin films etc.

Here we report on a new type of a random phase-polarizing plate (RPPP) fabricated at the surface of an Iceland spar which necessary for effective homogenization of laser beam ensuring the absence of speckles within the processing plane (Figure c). To realize such RPPP it was specially developed and applied two orthogonally polarized beamlets with π phase difference (Figure d). High speed fabrication of RPPP takes no more than 10 minutes to fabricate 8 mm^2 .

Acknowledgements: The reported study was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, research agreement №14.587.21.0037 (RFMEFI58717X0037).

СЖАТАЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННАЯ МИКРОПЛАЗМА (СЛИМП) И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

В.П. Вейко*, В.А. Шкуратова, Г.К. Костюк, М.М. Сергеев, Р.А. Заколдаев

ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, St. Petersburg 197101, Russia

**e-mail: vadim.veiko@mail.ru*

Научный и прикладной интерес к лазерной плазме (ЛП) не угасает уже долгое время. ЛП является по сути «конвертером лазерной энергии» в другие диапазоны излучения, формы материи и движения. Это подтверждается такими приложениями ЛП как генерация мягкого рентгеновского излучения, лазерная реактивная тяга, синтез наночастиц, и т.д. Однако, в настоящей работе основное внимание уделяется плазме, образующейся при лазерной абляции сильно поглощающей мишени при полном контакте с прозрачной твердой средой. Такую разновидность ЛП будем называть «сжатой лазерно-индуцированной микроплазмой» (СЛИМП).

СЛИМП является, по существу, «сфокусированным» сгустком возбужденных частиц, причем ее временные и пространственные параметры полностью определяются параметрами лазерного пучка, свойствами вещества мишени и прозрачного материала. Последний оказывается под воздействием управляемой СЛИМП и появляется возможность его прецизионной и эффективной обработки.

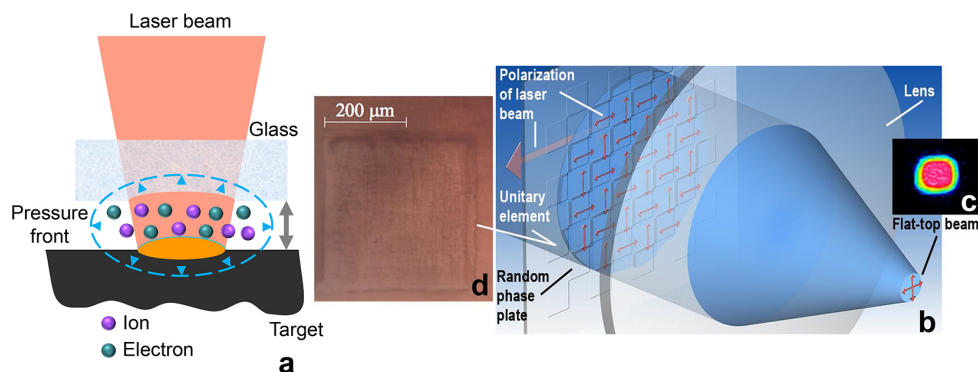


Рис.1. Процедура СЛИМП (а). Схематическое изображение СФП (б), ее тестирование (с) и микрофотография (d).

В то же время, имеется насущная потребность в создании нового современного метода получения структурированных световых пучков с фазовыми и поляризационными особенностями (Figure b). Это может иметь решающее значение для картирования не одноосных напряжений, определения областей с фазовым разделением, зондирования распределения наночастиц в тонких пленках, в сверхразрешающей микроскопии, в задачах лазерного траппинга, а также в ряде задач обработки тонких пленок и т.п.

В докладе сообщается о создании нового типа случайной фазово-поляризационной пластины (СФП), изготовленной на исландском шпате, который необходим для эффективной гомогенизации лазерного луча, обеспечивающей отсутствие спеклов в плоскости обработки.

Благодарность: Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации, соглашение №14.587.21.0037 (RFMEFI58717X0037).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ

Капительный А.Г.

kalexandr48@gmail.com

*Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
Ижорская 13/19, Москва 125412*

Аннотация

Предложена глубокая модификация известного экспериментального метода «электро-взрыва проволочек» для динамического изучения теплофизических свойств широкого круга проводящих веществ при высоком уровне температур давлений. В предлагаемом методе нагрев образца исследуемого вещества осуществляется джоулевым теплом, выделяющимся при прохождении по нему мощного импульса электрического тока высокой плотности. Образец плоской геометрической формы зажат между двумя прозрачными пластинами (окнами) формирующими импедансную границу и позволяющими реализовать высокий уровень давлений в эксперименте. Метод позволяет проводить исследования теплофизических свойств веществ, которые находятся в твердом, жидком и плазменном состоянии при температурах до 30 000 К и давлениях до 10 ГПа.

Предлагаемый экспериментальный метод позволил получить новые данные по физике конденсированного состояния вещества - был зарегистрирован переход расширенных жидких металлов (алюминий, железо и вольфрам) в неметаллическое состояние. Несмотря на высокие температуры, которые для исследованных нами металлов достигали 10 000 – 20 000 К, этот переход отчетливо регистрировался по смене знака изохорического температурного коэффициента электрического сопротивления. Установлено, что знак этого коэффициента не зависит от температуры, и он определялся одним параметром – плотностью.

Предлагаемый метод может быть использован для определения параметров критических точек металлов.

THE STUDY OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SUBSTANCES AT HIGH PRESSURES AND TEMPERATURES BY THE METHOD OF ELECTRICAL EXPLOSION OF CONDUCTORS

Kaptilny A.G.

kalexandr48@gmail.com

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences
Izhorskaya 13/19, Moscow 125412*

Abstract

A deep modification of the well-known experimental method of “electro-explosion of wires” is proposed for the dynamic study of the thermophysical properties of a wide range of conducting substances at a high level of temperature pressures. In the proposed method, the sample of the test substance is heated by Joule heat generated by the passage of a powerful high-density electric current pulse passing through it. A sample of a flat geometric shape is sandwiched between two transparent plates (windows) that form the impedance boundary and allow a high level of pressure to be realized in the experiment. The method allows to study the thermophysical properties of substances that are in solid, liquid and plasma state at temperatures up to 30,000 K and pressures up to 10 GPa.

The proposed experimental method allowed us to obtain new data on the physics of the condensed state of matter — the transition of expanded liquid metals (aluminum, iron and tungsten) to a non-metallic state was registered.

Despite the high temperatures, which for the metals we studied reached 10,000–20,000 K, this transition was clearly recorded by a change in the sign of the isochoric temperature coefficient of electrical resistance.

It was established that the sign of this coefficient does not depend on temperature and it was determined by one parameter - density.

The proposed method can be used to determine the parameters of critical points of metals.

ТЕПЛОВОЙ ДИАМЕТР СОЛНЦА

О.Г. Царькова¹, С.Н. Андреев², В.В. Белков¹, П.С. Васильева¹, Н.Е. Кондратьев¹,
Д.К. Кушнарев¹

¹ГБОУ Школа № 2007 ФМШ, Москва

²ФГБУН ИОФ РАН, Москва

olga@kapella.gpi.ru

Солнце – самое заметное из всех небесных тел – все еще хранит множество загадок. Широко известный указываемый в астрономических справочниках его видимый диаметр определяется границами фотосферы. Между тем, несмотря на свою разреженность, температуры последующих слоев достигают миллионов градусов. До сих пор оставался открытым вопрос о влиянии сильно нагретой атмосферы светила на его тепловое изображение на приемнике. Целью фундаментального исследования является измерение теплового диаметра Солнца, который, в соответствии с нашей гипотезой, может быть больше видимого.

Идея эксперимента предполагает пассивное сканирование небесной сферы телескопом-рефлектором с параболическим зеркалом. В фокусной плоскости внутри измерительной головки расположены два сенсорных резистора, нагреваемых солнечным излучением в процессе естественного перемещения Солнца вдоль эклиптики. Резисторы, к тыльной стороне которых подключены датчики температуры, соединены в мосты Уитстона. С помощью специального аппаратного и программного обеспечения величины напряжения разбалансировки мостов Уитстона U_G и температуры термодатчиков T записываются синхронно в один массив данных, что позволяет построить графики зависимостей от времени $U_G(t)$ и $T(t)$, а также $U_G(T)$ для последующего анализа.

В ходе исследований были решены следующие задачи: оценено возможное влияние излучения короны на тепловые размеры Солнца; получены, обработаны и проанализированы экспериментальные данные; показано, что при хорошей корреляции экспериментальных данных с линейной моделью $U_G = \frac{U_\alpha}{4} T$ на зависимости $U_G(T)$ имеется петля гистерезиса, вызванная инерционностью системы «резистор-термодатчик»; впервые рассчитано, что тепловой диаметр Солнца больше видимого не менее, чем на 12%, что согласуется с гипотезой и означает, что тепловая площадь Солнца больше видимой на ~25%.

Таким образом, использование солнечной энергии с помощью устройств, конструктивно рассчитанных именно на тепловой диаметр Солнца, может привести к ощутимому увеличению их выходной мощности и КПД по сравнению с устройствами, рассчитанными на видимый диаметр Солнца.

Литература:

1 В. Белков, П. Васильева, Н. Кондратьев, Д. Кушнарев, О.Царькова, С. Андреев, «Тепловой диаметр Солнца» Электронное научное издание Альманах Пространство и Время 16, 3-4 (2018). DOI: 10.24411/2227-9490-2018-12031. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_r_e-ast16-3_4.2018.31.

THERMAL DIAMETER OF THE SUN

O.G. Tsarkova¹, S.N. Andreev², V.V. Belkov¹, P.S. Vasileva¹, N.E. Kondratyev¹, D.K. Kushnarev¹

¹*School of mathematics and physics no. 2007, Moscow*

²*A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow*

olga@kapella.gpi.ru

The sun – the most visible of all celestial bodies – still holds many mysteries. Widely known in astronomical reference books its visible diameter is determined by the edges of the photosphere. Meanwhile, the temperatures of the subsequent layers reach millions of degrees Kelvin, despite its low density. The problem of the influence of the strongly heated atmosphere of the sun on its thermal image on the receiver has remained open until now. The aim of our fundamental research is to measure the thermal diameter of the Sun, which, according to our hypothesis, may be greater than the visible one.

The idea of the experiment involves passive scanning of the celestial sphere with a telescope-reflector with a parabolic mirror. There are sensor resistors in the telescope focal plane heated by solar radiation during the motion of the Sun along the Ecliptic. Resistors, to the back side of which temperature sensors are glued, are connected to the Wheatstone bridges. With the help of special hardware and software, the values of the unbalance voltage of the Wheatstone bridges U_G and the temperature of the temperature sensors T are written synchronously into one data array, which allows you to plot the time dependence of $U_G(t)$ and $T(t)$, as well as $U_G(T)$ for subsequent analysis.

In the course of the research the following problems are solved: the possible effect of corona radiation on the measured thermal size of the Sun is estimated; experimental data are obtained, processed and analyzed; it is shown that despite a correlation of the experimental data with the linear model $U_G = \frac{U_\alpha}{4} T$, there is a hysteresis loop on the graph $U_G(T)$ caused by the thermal inertia of the "sensor resistor-thermal resistors" system; for the first time it is calculated that the thermal diameter of the Sun is greater than the visible by at least 12%, which is consistent with the hypothesis and means that the thermal area of the Sun is more visible by ~25%.

Thus, the use of solar energy with devices designed specifically for the thermal diameter of the Sun can lead to a significant increase in their output power and efficiency compared to devices designed for the visible diameter of the Sun.

Keywords: Sun's angular diameter; solar corona; reflecting telescope; Wheatstone bridge.

References:

1. V.Belkov, P. Vasileva, N. Kondratyev, D. Kushnarev, O. Tsarkova, S. Andreev, "Thermal Diameter of the Sun" *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 16.3-4 (2018). DOI: 10.24411/2227-9490-2018-12031. Web. <2227-9490e-aprov_e-ast16-3_4.2018.031>. (In Russian).

COMPUTER SIMULATION OF THE FORMATION OF CLUMPS FORMED BY THE COLLISION OF MOLECULAR CLOUDS

Rybakin B.P.¹

¹ *SRISA RAS, MSU M.V. Lomonosov, Moscow*
rybakin@vip.niisi.ru

The paper presents the results of mathematical modeling of the collision of two molecular clouds (MC) during a frontal impact. Collisions of the MC are one of the key mechanisms for the formation of new stars. The resulting motion is described by a system of conservation laws in a three-dimensional rectangular coordinate system. The system of Euler equations is solved using a high-resolution TVD-type scheme. As shown in [1], when performing calculations on low resolution grids, non-physical fragmentation of MO occurs. Therefore, in our calculations, the number of grid nodes varied in the range from 1024x1024x1024 to 2048x1024x1024 cells [2].

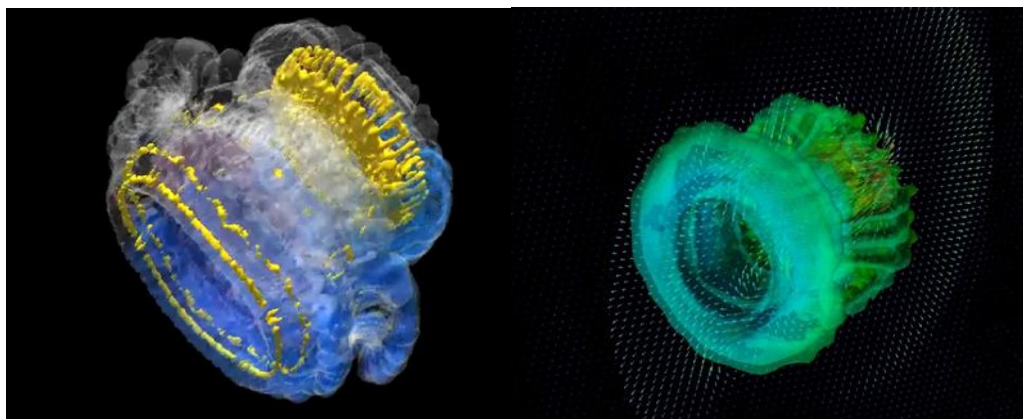


Fig.1. Clumps and filament formations

To speed up the calculation, we used specially developed code using OpenMP and CUDA parallel programming technologies. A simulation of the central and noncentral collisions of two MOs of different masses and the distribution of the initial density along the radius was carried out. The results of the interaction depend on a large number of factors: velocity, mass ratio, pulse direction, large-scale gas heterogeneity and other cloud parameters. The evolution of the collision process consists of three stages: mutual penetration of clouds, an increase in pressure in the contact zone, the formation of stochastic dense clots in the center, and the appearance of filaments (Fig. 1, left figure). These processes are accompanied by the Kelvin-Helmholtz instability and violation of the gas density over the surface layers (Fig. 1, right figure).

Acknowledgements: This work has been supported by the Program of Fundamental Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. 26.

References

1. R.I. Klein “Star formation with 3-D adaptive mesh refinement: the collapse and fragmentation of molecular clouds”, *J. Comp. Appl. Mat.*, 109, pp.123-152 (1999).
2. B. Rybakin, V. Goryachev. Modeling of density stratification and filamentous structure formation in molecular clouds after shock wave collision. *Computers and Fluids*, Pergamon Press Ltd. (United Kingdom)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОЯДЕР, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ

Б.П.Рыбакин¹

¹НИИСИ РАН, МГУ им. Ломоносова, Москва
rybakin@vip.niisi.ru

В работе представлены результаты математического моделирования процесса столкновения двух молекулярных облаков (МО) при центральном столкновении. Столкновения МО являются одним из ключевых механизмов образования новых звезд. Возникающее движение описывается системой законов сохранения в трехмерной декартовой системе координат. Система уравнений Эйлера решается с помощью метода высокого порядка точности типа TVD. Как показано в [1], при использовании сеток невысокой разрешающей способности, возникает нефизическая фрагментация МО. Поэтому вычисления проводились на сетках большого разрешения, в котором количество узлов варьировалось от 1024x1024x1024 до 2048x1024x1024 ячеек [2].

Для ускорения вычислений была создана параллельная программа, в которой использовались технологии CUDA и OpenMP. Были проведены систематические расчеты центрального столкновения двух МО, которые различались массой, диаметрами, законами распределения массы по радиусу.

Расчеты показали, что результаты взаимодействия зависят от большого количества факторов: скорости соударения, отношения масс, направления импульса и других параметров. Эволюция процесса столкновения состоит из трех этапов: взаимного проникновения друг в друга, сильного увеличения плотности и давления в зоне контакта, образование сверхплотных сгустков и появление филамент (Рис.1, слева).

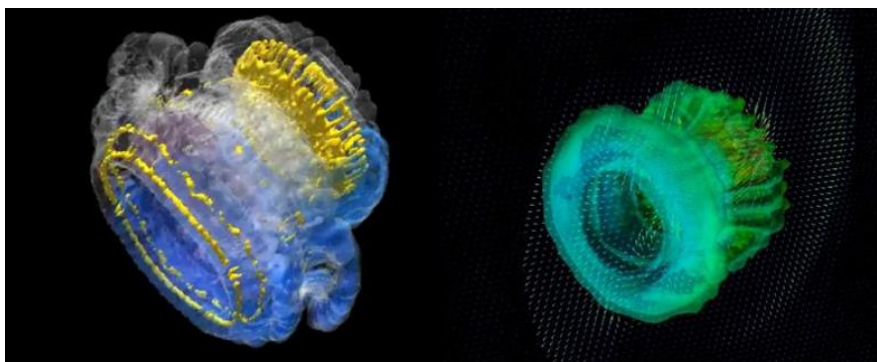


Рис.1. Формирование филамент и протоядер

Эти процессы сопровождаются неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца и нарушением плотности газа над поверхностными слоями (Рис. 1, правый рисунок)

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН.

Литература:

1. R.I. Klein “Star formation with 3-D adaptive mesh refinement: the collapse and fragmentation of molecular clouds”, J. Comp. Appl. Mat., 109, pp.123-152 (1999).
2. B. Rybakin, V. Goryachev. Modeling of density stratification and filamentous structure formation in molecular clouds after shock wave collision. Computers and Fluids, v. 173, pp. 189-194, (2018).

ON THE ACCURACY OF MUSCL TYPE SHOCK CAPTURING SCHEMES

O. A. Kovyorkina¹, V. V. Ostapenko^{1,2}

¹*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Lavrentyev avenue, 15, Novosibirsk, 630090, Russia*

²*Novosibirsk State University, Pirogova street, 2, Novosibirsk, 630090, Russia
ostapenko_vv@ngs.ru*

Since in the classical work [1] it was shown that among linear two-layer in time schemes there are no monotonic schemes with a higher approximation order, the development of the theory of shock capturing numerical methods for hyperbolic systems of conservation laws was largely aimed at overcoming this “Godunov’s taboo”. As a result, various classes of both difference and projection schemes were developed, in which an increased order of approximation on smooth solutions and monotonicity were achieved due to NFC (Nonlinear Flux Correction) procedure. The main advantage of these schemes is that they localize shock waves with high accuracy in the absence of significant non-physical oscillations.

Later on, for NFC schemes like TVD [2], WENO [3], DG [4], and CABARET [5] it was shown that these schemes (regardless of their accuracy on the smooth solutions) have no more than the first order of integral convergence at intervals, one of their boundaries is in the area of the shock influence, which leads to a significant decrease in the scheme accuracy in this area. In the present work, a similar result was obtained for the second-order central-difference NT scheme [6], which construction uses the MUSCL-reconstruction of numerical flux. This scheme is of particular interest because it underlies a whole class of monotonic central-difference schemes of increased accuracy [7], which does not apply the solution of the Riemann problem (unlike standard MUSCL schemes).

Acknowledgements: The work was carried out with support by the Russian Science Foundation (grant No. 16-11-10033).

References:

1. S.K. Godunov, “A difference scheme for numerical computation of discontinuous solution of hyperbolic equations” *Mat. Sb.*, Vol. 47 (3), 271-306 (1959) [in Russian]
2. O.A. Kovyorkina, V.V. Ostapenko, “On the convergence of shock capturing difference schemes” *Dokl. Math.*, Vol. 82 (1), 599-603 (2010)
3. N.A. Mikhailov, “The convergence order of WENO schemes behind a shock front” *Math. Models. Comput. Simul.*, Vol. 7 (5), 467-474 (2015)
4. M.E. Ladonkina, V.V. Neklyudova, V.V. Ostapenko, V.F. Tishkin, “On the accuracy of the discontinuous Galerkin method in calculation of shock waves” *Comput. Math. Math. Phys.*, Vol. 58 (8), 1344-1353 (2018)
5. O.A. Kovyorkina, V.V. Ostapenko, “On monotonicity and accuracy of CABARET scheme calculating weak solutions with shocks” *Computational Technologies*, Vol. 23 (2), 37-54 (2018) [in Russian]
6. H. Nessyahu, E. Tadmor, “Non-oscillatory central differencing for hyperbolic conservation laws” *J. Comput. Phys.*, Vol. 87 (2), 408-463 (1990)
7. A. Kurganov, E. Tadmor, “New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection-diffusion equations” *J. Comput. Phys.*, Vol. 160, 241-282 (2000)

О ТОЧНОСТИ СХЕМ ТИПА MUSCL ПРИ РАСЧЕТЕ УДАРНЫХ ВОЛН

О. А. Ковыркина¹, В. В. Остапенко^{1,2}

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, пр. ак. Лаврентьева, 15,
Новосибирск, 630090, Россия

²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия
ostapenko_vv@ngs.ru

В классической работе [1] было показано, что среди линейных двухслойных по времени схем нет монотонных схем повышенного порядка аппроксимации. Поэтому развитие теории численных методов сквозного счета для гиперболических систем законов сохранения в значительной степени было направлено на преодоление этого “запрета Годунова”. В результате были разработаны различные классы как разностных, так и проекционных схем, в которых повышенный порядок аппроксимации на гладких решениях и монотонность достигались за счет нелинейной коррекции потоков (Nonlinear Flux Correction). Основное достоинство этих схем заключается в том, что они с высокой точностью локализуют ударные волны при отсутствии существенных нефизических осцилляций.

В дальнейшем для NFC-схем типа TVD [2], WENO [3], DG [4] и CABARET [5] было показано, что эти схемы (независимо от их точности на гладких решениях) имеют не более чем первый порядок интегральной сходимости на интервалах, одна из границ которых находится в области влияния ударной волны, что приводит к существенному снижению их точности в этой области. В настоящей работе аналогичный результат получен для центрально-разностной NT-схемы второго порядка [6], при построении которой используется MUSCL-реконструкция численных потоков. Эта схема представляет особый интерес, поскольку лежит в основе целого класса монотонных центрально-разностных схем повышенной точности [7], при реализации которых не применяется решение задачи Римана на границе смежных ячеек разностной сетки (в отличие от стандартных MUSCL-схем).

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-11-10033).

Литература:

1. С.К. Годунов, “Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики” Мат. сб. Т. 47 (3), 271-306 (1959)
2. О.А. Ковыркина, В.В. Остапенко, “О сходимости разностных схем сквозного счёта” Докл. АН. Т. 433 (5), 599-603 (2010)
3. Н.А. Михайлов, “О порядке сходимости разностных схем WENO за фронтом ударной волны” Матем. моделир. Т. 27 (2), 129-138 (2015)
4. М.Е. Ладонкина, О.А. Неклюдова, В. В. Остапенко, В.Ф. Тишкин, “О точности разрывного метода Галеркина при расчете ударных волн” Ж. вычисл. матем. и матем. физ. Т. 58 (8), 148-156 (2018)
5. О.А. Ковыркина, В.В. Остапенко, “О монотонности и точности схемы КАБАРЕ при расчете обобщенных решений с ударными волнами” Выч. технологии. Т. 23 (2), 37-54 (2018)
6. Н. Nessyahu, E. Tadmor, “Non-oscillatory central differencing for hyperbolic conservation laws” J. Comput. Phys., Vol. 87 (2), 408-463 (1990)
7. А. Kurganov, E. Tadmor, “New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection-diffusion equations” J. Comput. Phys., Vol. 160, 241-282 (2000)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСКОРЕНИЯ ТЕЛ И СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ТЕМЕТОС

М.П. Галанин, В.В. Лукин, А.С. Родин, Д.Л. Сорокин

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), г. Москва, Россия
galan@keldysh.ru*

Математическое моделирование ускорения твердых тел и плазмы под действием электромагнитных сил является важным методом решения многих фундаментальных и прикладных задач. К ним относятся, например, задачи расчета физических полей и оптимизации характеристик проводников в магнитных компрессорах. Для преобразования электрического импульса в них используют плоские алюминиевые ленты или цилиндрические оболочки, которые разгоняются электромагнитными силами до скоростей порядка 1 км/с и при торможении сжимают магнитное поле, находящееся между ними. Другой класс задач возникает при расчете электромагнитных ускорителей рельсотронного типа. В этом случае дополнительная сложность заключается в необходимости совместно решать уравнения разных типов: в проводнике (рельсах и метаэтом теле) - параболическое уравнение, в диэлектрике – эллиптическое. Задача моделирования электромагнитной коллимации и ускорения плазмы возникает при описании астрофизических струйных выбросов – джетов, скорость которых достигает от 0,25 до 0,9 скорости света, при этом поток плазмы остается сжатым на больших расстояниях.

Для учета указанных особенностей разработана программная платформа Теметос, позволяющая задавать пространственные области сложной геометрической формы и строить в них сгущающиеся, в том числе неструктурированные, сетки. Платформа содержит ряд служебных модулей для подготовки, запуска и анализа результатов расчетов на суперЭВМ, включая визуализацию полученного решения.

Физическому наполнению платформы математического моделирования Теметос соответствуют разработанные вычислительные модулями, ориентированные на конкретный класс задач. В качестве таких модулей разработаны независимые расчетные параллельные программные комплексы, предназначенные для численного решения многомерных задач механики твердого деформируемого тела с использованием метода конечных элементов, уравнений Максвелла в квазистационарном приближении конечно-разностными и конечно-элементными методами, системы уравнений магнитной гидродинамики с использованием разрывного метода Галеркина. Разработка методов и алгоритмов для указанных комплексов включает в себя решение сопутствующих проблем, таких как неединственность решения задачи в случае несвязного объединения проводящих подобластей и границы, эффективное решение больших систем линейных алгебраических уравнений на кластерных вычислительных комплексах, монотонизация численного решения, получаемого методом высокого порядка.

С помощью разработанных модулей выполнены расчеты физических полей для ряда конфигураций магнитных ускорителей, включая рельсотронные, проведены работы по моделированию ускорения плазмы в астрофизических условиях и исследованию

тонких структур течений в аккреционных дисках. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными и наблюдательными данными, а также с результатами других исследователей.

Благодарность: Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00252).

Литература:

1. М.П. Галанин, М.К. Крылов, А.П. Лотоцкий, А.С. Родин. Математическое моделирование работы магнитного компрессора // 14 Харитоновские тематические научные чтения «Мощная импульсная электрофизика», 12 – 16 марта, 2012, Саров. Сборник докладов, Саров: Издательско-полиграфический комплекс ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013, С. 200-208.
2. Грабовский Е.В., Бахтин В.П., Галанин М.П., Житлухин А.М., Левашов В.Ф., Лотоцкий А.П., Родин А.С., Топорков Д.А., Умрихин Н.М., Ефремов Н.М., Крылов М.К., Хомутильников Г.Н., Сулимин Ю.Н. Исследования работы импульсного магнитного компрессора с электродинамическим разгоном лайнера // Журнал технической физики. 2014. Т. 84. № 7. С. 126-135.
3. М.П. Галанин, М.К. Крылов, А.П. Лотоцкий, А.С. Родин. Учет больших пластических деформаций в задаче высокоскоростного нагружения алюминиевой ленты // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2017. № 2. С. 66-79.
4. Галанин М.П., Попов Ю.П. Квазистационарные электромагнитные поля в неоднородных средах: Математическое моделирование. М.: Наука; Физматлит, 1995. 320 с.
5. М.П. Галанин, Д.Л. Сорокин. Расчёт квазистационарных электромагнитных полей в областях, содержащих несвязные проводящие подобласти // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. 2017. № 19. 24 с.
6. Применение программной платформы Теметос для разработки среды моделирования электромагнитного ускорителя / М.П. Галанин [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2018. № 44. 32 с.
7. Galanin M.P., Lukin V.V. Providing the divergence-free property of the magnetic field when solving the MHD equations by the RKDG method // Computational mathematics and mathematical physics. 2015. Vol. 55, № 8. Pp. 1298-1309.
8. Lukin V.V., Malanchev K.L., Shakura N.I., Postnov K.A., Chechetkin V.M., Utrobin V.P. 3D-modeling of accretion disc in eclipsing binary system V1239 Her // MNRAS. 2017. Vol. 467, No 3. Pp. 2934-2942.
9. Галанин М.П., Лукин В.В., Чечеткин В.М. Радиационно ускоренные замагниченные джеты // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2015. № 2. С. 63-94.

MATHEMATICAL SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC ACCELERATION FOR SOLIDS AND MEDIA WITH USE OF PROGRAM PLATFORM TEMETOS

M.P. Galanin, V.V. Lukin, A.S. Rodin, D.L. Sorokin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences (KIAM of RAS), Moscow, Russia
galan@keldysh.ru*

Mathematical simulation of acceleration for solid bodies and plasma under the influence of electromagnetic forces is an important method for the solution of many fundamental and applied tasks. Problems of calculation of physical fields and optimization of characteristics of conductors in magnetic compressors concern them, for example. For transformation of an electric impulse the compressors use flat aluminum tapes or cylindrical covers, which are accelerated by electromagnetic forces up to velocities about 1 km/s and compress the magnetic field between them at braking. Other class of tasks arises at calculation for electromagnetic accelerators of railgun type. In this case the additional complexity consists in need of common solving the equations of different types: in the conductor (rails and accelerated armatures) - the parabolic equation, in dielectric – the elliptic one. The problem of modeling of electromagnetic collimation and acceleration of plasma arises at the description of astrophysical jet emissions. The speed of such jets reaches from 0,25 to 0,9 velocity of light, at the same time the stream of plasma remains compressed at long distances.

The program platform Temetos is developed for accounting of the specified features. It allows to set spatial areas of an irregular geometrical shape and to build in them condensed, including unstructured, grids. The platform contains a number of service modules for preparation, running and analysis of results of calculations on the super computer, including visualization of the received solution.

According to physical content of Temetos platform for mathematical simulation there were developed special computing modules, focused on a concrete class of tasks. As such modules the independent parallel program complexes were developed. They are intended for the numerical solution of multidimensional problems for mechanics of deformable solids by use of finite element method, Maxwell's equations in quasistationary approach by final difference and final element methods, the systems of equations of magnetic hydrodynamics with use of discontinuous Galerkin method. Development of methods and algorithms for the specified complexes includes the solution of accompanying problems, such as non-uniqueness of the solution of a task in case of incoherent association of the conducting subareas and borders, the effective solution of big systems of the linear algebraic equations on cluster computer systems, a monotonization of the numerical solution received by method of a high order.

By means of the developed modules the calculations of physical fields for a number of configurations of magnetic accelerators, including railgun accelerators are executed, there are performed works on modeling of plasma acceleration in astrophysical conditions and on simulation of thin structures of currents in accretion disks. The received results are in good accordance with the available experimental and observation data and with results of other researchers.

Acknowledgement: The work was done under partial financial support of Russian Fund for Basic Researches (project No. 18-01-00252).

References:

1. M.P. Galanin, M.K. Krylov, A.P. Lototskii, A.S. Rodin. Matematicheskoe modelirovanie raboty magnitnogo kompressora // 14 Kharitonovskie tematicheskie nauchnye chteniia «Moshchnaia impulsnaia elektrofizika», 12 – 16 marta, 2012, Sarov. Sbornik dokladov, Sarov: Izdatelsko-poligraficheskii kompleks FGUP «RFIaTs-VNIIEF», 2013, P. 200-208. In Russian.
2. Grabovskii E.V., Bakhtin V.P., Galanin M.P., Zhitlukhin A.M., Levashov V.F., Lototskii A.P., Rodin A.S., Toporkov D.A., Umrikhin N.M, Efremov N.M., Krylov M.K., Khomutinnikov G.N., Sulimin Iu.N. Issledovaniia raboty impulsnogo magnitnogo kompressora s elektrodinamicheskim razgonom lainera // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. 2014. V. 84. № 7. P. 126-135. In Russian.
3. M.P. Galanin, M.K. Krylov, A.P. Lototskii, A.S. Rodin. Uchet bolshikh plasticheskikh deformatsii v zadache vysokoskorostnogo nagruzheniia aliuminievoi lenty // Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela. 2017. № 2. P. 66-79. In Russian.
4. Galanin M.P., Popov Iu.P. Kvizistatsionarnye elektromagnitnye polia v neodnorodnykh sredakh: Matematicheskoe modelirovanie. M.: Nauka; Fizmatlit, 1995. 320 p. In Russian.
5. M.P. Galanin, D.L. Sorokin. Raschet kvazistatsionarnykh elektromagnitnykh polei v oblastiakh, sodержashchikh nesviaznye provodiashchie podoblasti // Preprint IPM im. M.V. Keldysha. 2017. № 19. 24 p. In Russian.
6. Primenenie programmnoi platformy Temetos dlia razrabotki sredy modelirovaniia elektromagnitnogo uskoritelia / M.P. Galanin [et al.] // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. 2018. № 44. 32 p. In Russian.
7. Galanin M.P., Lukin V.V. Providing the divergence-free property of the magnetic field when solving the MHD equations by the RKDG method // Computational mathematics and mathematical physics. 2015. Vol. 55, № 8. Pp. 1298-1309.
8. Lukin V.V., Malanchev K.L., Shakura N.I., Postnov K.A., Chechetkin V.M., Utrobin V.P. 3D-modeling of accretion disc in eclipsing binary system V1239 Her // MNRAS. 2017. Vol. 467, No 3. Pp. 2934-2942.
9. Galanin M.P., Lukin V.V., Chechetkin V.M. Radiatsionno uskorennye zamagnichennye dzhety // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Serii «Estestvennye nauki». 2015. № 2. P. 63-94. In Russian.

PHASE FREEZEOUT IN BINODAL LAYER IN ADIABATICALLY EXPANDING MATTER IN TERRESTRIAL AND ASTROPHYSICAL APPLICATIONS

Iosilevskiy Igor

*Joint Institute for High Temperature RAS, Izhorskaya 13 b.2, Moscow, Russia
iosilevskiy@gmail.com*

Remarkable feature of non-congruent phase transition (NCPT) is more complicated structure of two-phase boundaries. Non-standard hydrodynamic behavior of warm dense matter (WDM) within NCPT region is under discussion. In contrast to ordinary VdW-like transitions, thermodynamic path of adiabatic WDM expansion enters and leaves 2-phase NCPT region at high enough entropies within so-called retrograde scenario. Two remarkable events result from this double crossing of phase boundaries when expansion is going within equilibrium (not metastable!) regime: (i) so-called binodal layer [1] (“plateau”) appears when adiabatically expanding WDM enters 2-phase region; (ii) rarefaction shock appears when expanding matter leaves this region. Features and parameters of both the events are discussed on the base of adiabatic expansion within 2-phase NCPT region for chemically reacting WDM of high-temperature uranium-oxygen plasma of products of extreme accident heating of uranium dioxide [2].

Aknowledgements: This work was supported by RAS Scientific Program “Thermophysical properties of matter at extreme state”

References

1. Iosilevskiy I., “Phase freezeout” in isentropically expanding matter, Proc. of Int. Conf. for Physics of Extreme States of Matter, Ed. V. Fortov (Chernogolovka: IPCP RAS), Russia, PP. 99-102 (2011.) / [arXiv:1401.5481](https://arxiv.org/abs/1401.5481)
2. Iosilevskiy I., Borovikov D., “Phase freezeout in isentropically expanding warm dense matter”, 5th EMMI Workshop “Plasma Physics with Intense Laser and Heavy Ion Beams for FAIR, October (2012) Moscow, Russia
3. Iosilevskiy I., Gryaznov V.K., “Binodal layer and rarefaction shock in retrograde adiabatic expansion of warm dense matter in two-phase region of non-congruent phase transition” // XXXI Int. Conference “*Equation of State for Matter*” Elbrus, Kabardino-Balkaria, Russia, March 2016
4. Iosilevskiy I. “Binodal Layer and Phase Freezeout in Adiabatically Expanded Hot Dense Matter” // Int. Conf. “Compact Stars in the QCD Phase Diagram”, Dubna, Russia, September 2017/

PHASE DIAGRAM OF CHROMIUM AT HIGH ENERGY DENSITIES

Khishchenko K.V.

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

Description of thermodynamic properties and phase transformations of refractory metals at high energy densities is of great interest for modeling of processes at various technologies. In particular, an equation of state for chromium in a broad region of phase diagram from normal conditions to extremely high pressures and temperatures is necessary for hydrodynamic simulations of intense pulsed influences upon this material. In the present work, a semiempirical model of the thermodynamic potential Helmholtz free energy is developed for chromium with taking into account melting and evaporation effects. Based on the developed model, a multi-phase equation of state is constructed, and calculations of parameters of the phase diagram for the metal over a wide range of pressures and temperatures are carried out. A critical comparison of calculated results with available data from thermophysical experiments is presented. The work is supported by the Russian Science Foundation (grant No. 19-19-00713).

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ХРОМА ПРИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЯХ ЭНЕРГИИ

Хищенко К.В.

*Объединенный институт высоких температур РАН,
Ижорская 13, стр. 2, Москва 125412, Россия
konst@ihed.ras.ru*

Описание термодинамических свойств и фазовых превращений тугоплавких металлов при высоких плотностях энергии представляет большой интерес для моделирования процессов в различных технологиях. В частности, уравнение состояния хрома в широкой области фазовой диаграммы от нормальных условий до экстремально высоких давлений и температур необходимо для гидродинамического моделирования интенсивных импульсных воздействий на этот материал. В настоящей работе развита полумпирическая модель термодинамического потенциала свободной энергии хрома с учетом плавления и испарения. На основе развитой модели построено многофазное уравнение состояния, и проведены расчеты параметров фазовой диаграммы этого металла в широком диапазоне давлений и температур. Выполнено критическое сопоставление полученных результатов с имеющимися данными теплофизических экспериментов. Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 19-19-00713).

DETERMINATION OF THE PHONON THERMAL CONDUCTIVITY OF COPPER BY MOLECULAR DYNAMICS

A.A. Aleksashkina¹, M.M. Demin¹, A.V. Mazhukin^{1,2}

¹*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Russia, Moscow*

e-mail: specimen@mail.ru

Determination of the thermophysical properties of copper at high temperatures is an urgent task due to the fact that in most cases the formulation of the experiment is difficult or impossible. One of the effective methods for calculating the thermophysical properties of metals is the molecular dynamics method (MDM). In this work, using MDM, we studied the phonon thermal conductivity of copper as a function of temperature. To determine the thermal conductivity, the direct method was used, which consists in calculating the thermal conductivity λ from the Fourier law for the heat flux $W = -\lambda \partial T / \partial x$ [1,2]. The thermal conductivity coefficient turns out to be dependent on the length of the region due to phonon scattering at the boundary when calculating with a small number of atoms. Therefore, to limit the size of the simulation region, we used the scaling procedure, in which we constructed the inverse dependence of the thermal conductivity $1/\lambda$ relative to the inverse value of the length of the simulation region, $1/L$, and the thermal conductivity was determined by extrapolating the data $1/L \rightarrow 0$. This value corresponds to the infinite length of the region. During the simulation, the interaction potential between EAM particles was used. As a result of the work, the dependence of the coefficient of thermal conductivity of copper in a wide temperature range from 300 K to a critical point was obtained, Fig. 1. Polynomial analytical dependences were obtained for the solid and liquid phases. The results obtained can then be used to simulate explosive boiling during pulsed laser heating.

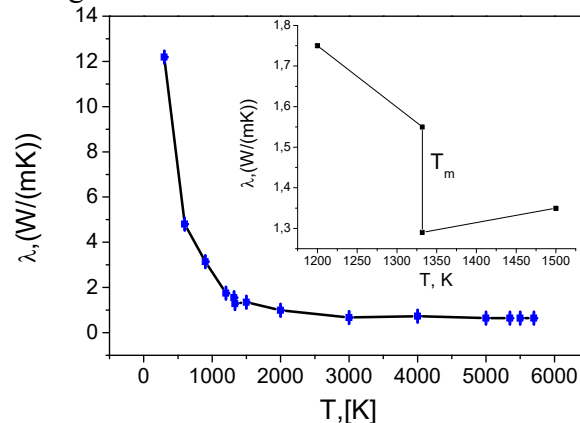


Fig. 1. Temperature dependence of phonon thermal conductivity, inset – the dependence near the melting point

Acknowledgements: This work was supported by RFBR (project № 19-07-01001).

References:

1. O.N. Koroleva, M.M. Demin, V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, “Modeling of thermal conductivity of Si in the range from the normal to near-critical conditions”, *Math. Montis.*, 45, 85-94, (2019)
2. P. K. Schelling, S. R. Phillpot, P. Keblinski, “Comparison of atomic-level simulation methods for computing thermal conductivity”, *Phys. Rev. B*, 65, 144306 (2002).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕДИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

А.А. Алексашкина¹, М.М. Демин¹, А.В. Мажукин^{1,2}

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва

e-mail: specimen@mail.ru

Определение теплофизических свойств меди при высоких значениях температуры является актуальной задачей в связи тем, что в большинстве случаев постановка эксперимента сложна или невозможна. Одним из эффективных методов расчета теплофизических свойств металлов является молекулярно-динамический метод (МДМ). В данной работе с помощью МДМ была исследована фононная теплопроводность меди в зависимости от температуры. Для определения теплопроводности использовался прямой метод, заключающийся в вычислении теплопроводности λ из закона Фурье для теплового потока $W = -\lambda \partial T / \partial x$ [1,2]. При расчете с небольшим числом атомов коэффициент теплопроводности оказывается зависимым от длины области из-за рассеяния фононов на границе. Поэтому для ограничения размера области моделирования использовалась процедура масштабирования, при которой строилась обратная зависимость теплопроводности $1/\lambda$, по отношению к обратной величине длины области моделирования, $1/L$, затем теплопроводность определялась путем экстраполяции данных $1/L \rightarrow 0$. Это значение соответствует бесконечной длине области. При проведении моделирования использовался потенциал взаимодействия между частицами ЕАМ. В результате работы была получена зависимость коэффициента теплопроводности меди в широком диапазоне температур от 300 К до критической точки, рис. 1. Были получены полиномиальные аналитические зависимости для твердой и жидкой фазы. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для моделирования взрывного вскипания при импульсном лазерном нагреве.

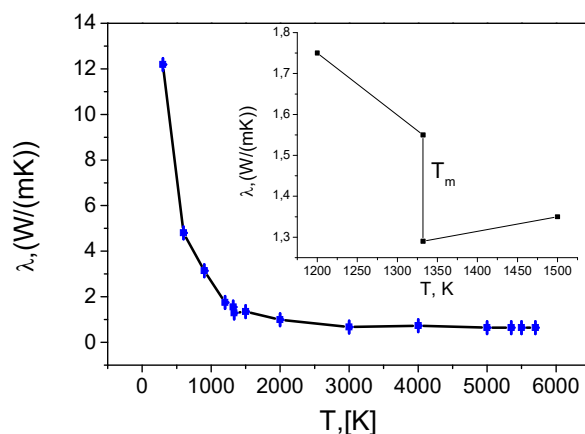


Рис. 1. Температурная зависимость фононной теплопроводности, врезка – зависимость вблизи точки плавления

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-07-01001.

Литература:

1. O.N. Koroleva, M.M. Demin, V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, “Modeling of thermal conductivity of Si in the range from the normal to near-critical conditions”, Math. Montis., 45, 85-94, (2019)
2. P. K. Schelling, S. R. Phillpot, P. Keblinski, “Comparison of atomic-level simulation methods for computing thermal conductivity”, Phys. Rev. B, 65, 144306 (2002).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ SI В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ

О.Н. Королева^{1,2}, А.В. Мажукин^{1,2}, М.М. Демин¹, П.В. Бреславский¹

¹ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Россия, Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва
e-mail: koroleva.on@mail.ru

Методами математического моделирования получены теплоемкость и теплопроводность кремния в широком температурном диапазоне, включающем критическую область и область фазовых трансформаций полупроводник-металл [1,2]. Поскольку перенос тепловой энергии осуществляется свободными носителями заряда и фононами при исследовании теплопроводности и теплоемкости кремния учитывались решеточная и электронная составляющие. Решеточные (фононные) теплопроводность и теплоемкость определялись в рамках атомистического подхода, базирующегося на молекулярно-динамическом моделировании. В данном исследовании для моделирования свойств фононной подсистемы кремния использовались потенциалы взаимодействия Стиллинджера-Вебера (SW) и KINS. Моделирование характеристик электронной подсистемы кремния с собственной проводимостью основывалось на использовании квантовой статистики Ферми-Дирака с использованием интегралов Ферми-Дирака [3]. Полные теплоемкость и теплопроводность кремния были определены как суммы соответствующих свойств электронной, фононной подсистем. Полученные результаты моделирования сравнивались с экспериментальными данными и с альтернативными результатами вычислений. На рис. 1 показана теплоемкость кремния полная и решеточная, полученная с разными потенциалами взаимодействия. На рис.2. представлена теплопроводность кремния электронная, фононная, полученная с потенциалом взаимодействия KINS и полная.

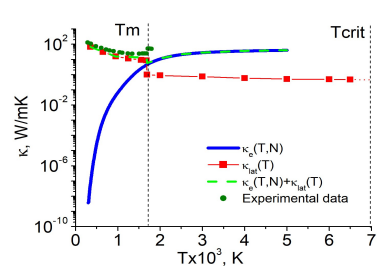
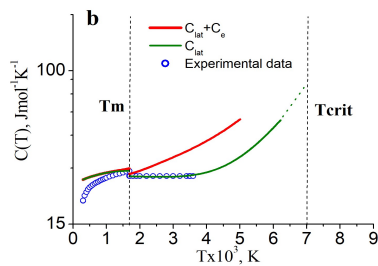
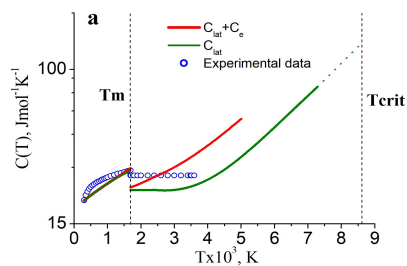


Рис.1. Теплоемкость кремния. (а) Полная и решеточная с потенциалом SW; (б) полная и решеточная с потенциалом KINS. Маркеры - данные эксперимента.

Рис.2. Теплопроводность электронов, решетки (KINS) и полная. Маркеры – данные эксперимента.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-07-01001.

Литература:

1. O.N. Koroleva, M.M. Demin, V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, “Modeling of thermal conductivity of Si in the range from the normal to near-critical conditions”, Math. Montis., 45, 85-94, (2019)
2. P. K. Schelling, S. R. Phillpot, P. Keblinski, “Comparison of atomic-level simulation methods for computing thermal conductivity”, Phys. Rev. B, 65, 144306 (2002).
3. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, Determination of thermal conductivity and heat capacity of silicon electron gas, Math. Montis., 40, 99-109, (2017)

SIMULATION OF SPECIFIC HEAT AND THERMAL CONDUCTIVITY OF SI IN A WIDE TEMPERATURE RANGE

O.N. Koroleva^{1,2}, A.V. Mazhukin^{1,2}, M.M. Demin¹, P.V. Breslavskii¹

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Russia, Moscow*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Russia, Moscow*

e-mail: koroleva.on@mail.ru

Using the methods of mathematical modeling, the heat capacity and thermal conductivity of silicon were obtained over a wide temperature range, including the critical region and the region of semiconductor-metal phase transformations [1,2]. Since the transfer of thermal energy is carried out by free charge carriers and phonons, the lattice and electronic components were taken into account when studying the thermal conductivity and heat capacity of silicon. Lattice (phonon) thermal conductivity and specific heat were determined in the framework of the atomistic approach, based on molecular dynamics modeling. In this study, the Stillinger – Weber (SW) and KIHS interaction potentials were used to model the properties of the phonon subsystem of silicon. The simulation of the characteristics of the electronic subsystem of silicon with intrinsic conductivity was based on the use of quantum Fermi – Dirac statistics using Fermi – Dirac integrals [3]. The total heat capacity and thermal conductivity of silicon were determined as the sum of the corresponding properties of the electronic, phonon subsystems. The obtained simulation results were compared with experimental data and with alternative calculation results. Figure 1 shows the total and lattice heat capacity of silicon obtained with different interaction potentials. Figure 2 shows complete, electronic, phonon and obtained with the KIHS interaction potential.

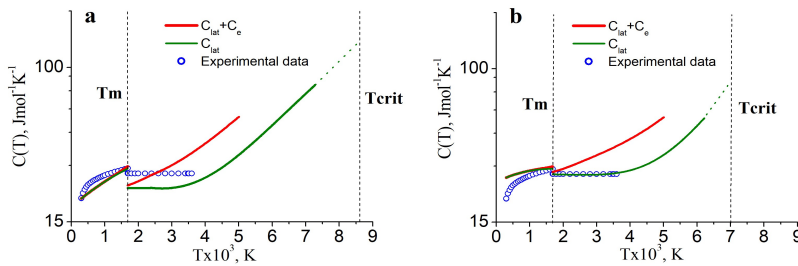


Figure 1. Heat capacity of silicon. (a) Complete and lattice with SW potential; (b) complete and lattice with KIHS potential. Markers are experimental data.

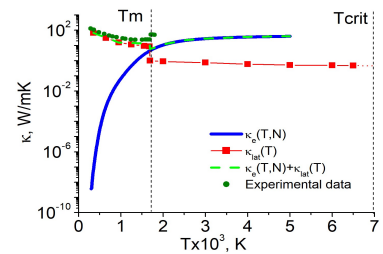


Figure 2. Thermal conductivity of electrons, lattice (KIHS) and full. Markers are experimental data.

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-07-01001.

References:

1. O.N. Koroleva, M.M. Demin, V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, “Modeling of thermal conductivity of Si in the range from the normal to near-critical conditions”, *Math. Montis.*, 45, 85-94, (2019)
2. P. K. Schelling, S. R. Phillpot, P. Keblinski, “Comparison of atomic-level simulation methods for computing thermal conductivity”, *Phys. Rev. B*, 65, 144306 (2002).
3. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, Determination of thermal conductivity and heat capacity of silicon electron gas, *Math. Montis.*, 40, 99-109, (2017)

MULTIPLE FILAMENTATION OF TW PEAK POWER SUB-PS UV LASER PULSES IN A COURSE OF A DIRECT AMPLIFICATION IN KrF LASER CHAIN AND PROPAGATION IN ATMOSPHERIC AIR

V.D. Zvorykin^{1,2}, I.V. Smetanin¹, A.V. Shutov¹, N.N. Ustinovskii¹

¹ P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Leninskii Pr. 53, 119991 Moscow, Russia

² National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe Sh. 31, 115409 Moscow, Russia
zvorykin@sci.lebedev.ru

A Shock Ignition concept of the Inertial Confinement Fusion (SI ICF) being considered for a Fusion Test Facility [1] is well compatible with KrF laser advantages such as short-wavelength and broad-band radiation, uniform target illumination, high coupling efficiency, focal spot zooming with imploding pellet, etc [2]. It implies that the main pulse of tens nanoseconds duration compressing a pellet is followed by a final powerful spike of hundred picoseconds, which uploads a convergent shock wave and ignites the thermonuclear fuel. About 1000 TW delivered in 20 beamlines over ~ 100 -m distance to a target, might undergo strong nonlinear distortion. We have investigated at GARPUN-MTW Ti:Sapphire / KrF laser facility [3] the effect of multiple filamentation of sub-ps TW UV pulses and its impact on a amplification efficiency and propagation along 100-m air pass. As pulse power was 3-4 orders of magnitude higher then the critical power of self-focusing in ambient air, a small-scale beam filamentation took place being managed by either coherent Stimulated Rotational Raman Scattering (SRRS) on transitions of N_2 molecules or Resonance Enhanced Multiphoton Ionization (REMPI) of water vapor. The filamentation was followed up to about 60-m distance (a–b in Fig. 1), after that beam smothering spontaneously happened (c) due to a self-induced destruction of laser radiation spatial coherence. Otherwise, multiple filamentation could be suppressed by a Xe-filled cell inserted into the optical tract (d). Kerr de-focusing of filaments in Xe explores a large negative nonlinear refractive index caused by a 2-photon resonance of KrF laser radiation with $6p$ state [4]. An impact of filamentation on laser beam focusing was also investigated at intensity $\sim 10^{16}$ W/cm² which is required for the SI ICF.

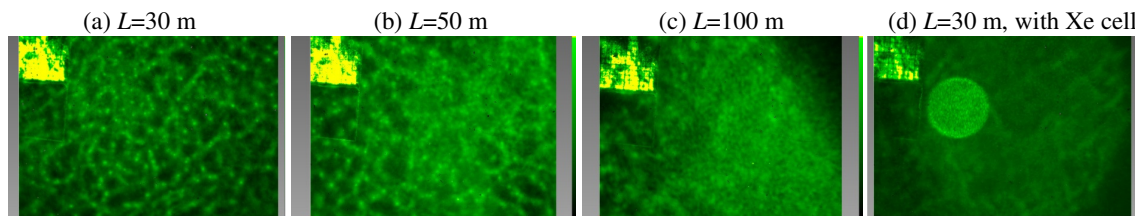


Fig. 1. Distribution of radiation at various distances L from the amplifier (a, b, c) without and (d) with Xe cell.

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant Nos. 18-02-00730 and 19-02-00875).

References

1. A.J. Schmitt, J.W. Bates, S.P. Obenschain, et al, *Fusion Sci. Tech.* **56**, 377–383 (2009).
2. S. Obenschain, R. Lehmborg, D.Kehne, et al, *Appl. Opt.* **34**, F103–F121 (2015).
3. V.D. Zvorykin, N.V. Didenko, A.A. Ionin, et al, *Laser and Particle Beams* **25**, 435–451 (2007).
4. V.D. Zvorykin, S.A. Goncharov, A.A. Ionin, et al, *Laser Phys. Lett.* **13**, 125404 (2016).

МНОЖЕСТВЕННАЯ ФИЛАМЕНТАЦИЯ СУБ-ПС УФ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ТВт ПИКОВОЙ МОЩНОСТЬЮ ПРИ ПРЯМОМ УСИЛЕНИИ В KrF УСИЛИТЕЛЯХ И РАСПРОСТРАНЕНИИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

В.Д. Зворыкин^{1,2}, И.В. Сметанин¹, А.В. Шутов¹, Н.Н. Устиновский¹

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва

² Нац. исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Каширское ш. 31, 115409 Москва
zvorykin@sci.lebedev.ru

Лазерный термоядерный синтез с ударным зажиганием [1], хорошо сочетается с такими достоинствами KrF лазера, как короткая длина волны и широкая полоса излучения, однородное облучение и масштабирование пятна мишени при имплозии, высокая эффективность поглощения в плазме, и т. д. [2]. В этой схеме за сжимающим мишень основным импульсом длительностью в десятки нс, следует мощный импульс в сотни пс, который создает сходящуюся к центру ударную волну и воспламеняет термоядерное горючее. При мощности около 1000 ТВт, доставляемое в 20 пучках излучение, может подвергаться сильным нелинейным искажениям на расстоянии ~ 100 м до мишени. На Ti: Sa/KrF лазерной установке ГАРПУН-МТВ [3] исследована множественная филаментация суб-пс, ТВт УФ импульсов при усилении и распространении вдоль 100-м воздушной трассы. При мощности импульсов на 3-4 порядка превышающей критическую для самофокусировки, происходила мелкомасштабная филаментация пучка в воздухе, обусловленная когерентным ВКР на вращательных переходах молекул N₂, либо резонансно-усиленной многофотонной ионизацией водяного пара. Она прослеживалась до 60 м (Рис. 1, а–б), после чего профиль пучка выравнивался за счет нарушения пространственной когерентности излучения (с). Филаментация также подавлялась в Хе за счет керровской дефокусировки излучения (d), обусловленной 2-фотонным резонансом с состоянием бр в Хе [4]. При интенсивности излучения ~ 10¹⁶ Вт/см², необходимой для ударного зажигания ЛТС, исследовано влияние филаментации на фокусировку лазерного пучка.

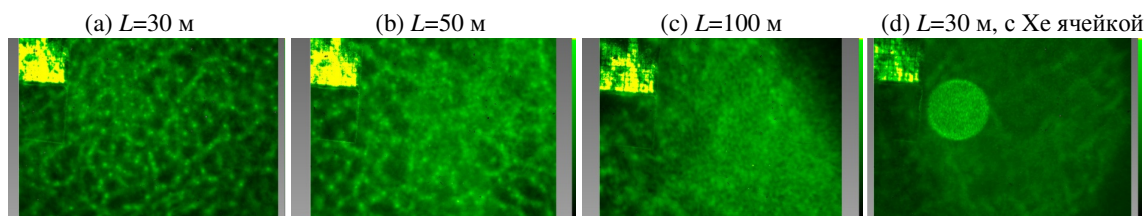


Рис. 1. Распределение излучения на разных расстояниях L от усилителя (а, б, в) без и (д) с Хе ячейкой.

Благодарности: Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (Гранты 18-02-00730 и 19-02-00875).

Литература

1. A.J. Schmitt, J.W. Bates, S.P. Obenschain, et al, Fusion Sci. Tech. **56**, 377–383 (2009).
2. S. Obenschain, R. Lehmborg, D.Kehne, et al, Appl. Opt. **34**, F103–F121 (2015).
3. V.D. Zvorykin, N.V. Didenko, A.A. Ionin, et al, Laser and Particle Beams **25**, 435–451 (2007).
4. V.D. Zvorykin, S.A. Goncharov, A.A. Ionin, et al, Laser Phys. Lett. **13**, 125404 (2016).

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АНТРОПОМОРФНЫМ РОБОТОМ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

М.В. Михайлюк, Е.В. Страшнов

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия

E-mail: mix@niisi.ras.ru

Антропоморфный робот – это манипуляционный робот, по своему строению подобный человеку. Его назначение состоит в том, чтобы полностью или частично заменить человека при выполнении ряда работ, в которых требуется осуществлять захват, перенос и другие манипуляции с объектами. Управление антропоморфным роботом может осуществляться в копирующем режиме с применением экзоскелета, надеваемого на тело человека, или в автоматическом режиме, в котором используются заранее подготовленные программы и показания датчиков сенсорного очувствления робота. При разработке автоматических систем управления роботом актуально использовать виртуальные модели роботов и окружающей обстановки. Это, с одной стороны, облегчает процесс создания и тестирования систем управления, а с другой – позволяет в дальнейшем уменьшить риск поломки реальных роботов.

В данной работе предлагаются методы и подходы автоматического управления виртуальным антропоморфным роботом, с помощью которых реализуются операции захвата, удержания и переноса объектов виртуального окружения. Предлагаемые методы и подходы базируются на применении виртуальных датчиков [1], решении задачи инверсной кинематики [2] и синтезе управления по силе. Захват и перенос объекта выполняется посредством управления положением и ориентацией основных составляющих рабочего органа (кисти и пальцев руки) робота. Для этого формулируется задача инверсной кинематики, в рамках которой кисть и пальцы руки робота управляются независимо друг от друга. Для решения этой задачи в работе был задействован итерационный метод покоординатного спуска с обратным порядком прохода шарниров. В предлагаемом подходе для управления роботом применяются ПД-регуляторы, а успешность достижения рабочим органом его целевых координат проверяется путем сравнения с показаниями виртуальных датчиков положения и ориентации. Операция удержания роботом объекта реализована на основе соотношения, связывающего моменты в двигателях пальцев робота и силы контакта пальцев с объектом. При этом управление роботом реализуется путем определения величины рассогласования между текущими и целевыми значениями сил, где текущие значения вычисляются посредством датчиков сил, а целевые значения вычисляются такими, чтобы удержать объект.

Предложенные методы и подходы управления антропоморфным роботом были реализованы в комплексе виртуального окружения, созданном в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-00137.

Литература:

1. М.В. Михайлюк, Е.В. Страшнов, Д.М. Логинов, “Моделирование датчиков в системах виртуального окружения” Труды НИИСИ РАН, Т. 8, № 2, 70-76 (2018).
2. Е.В. Страшнов, М.В. Михайлюк, “Моделирование полуавтоматического режима управления манипуляционными роботами в системах виртуального окружения” Вестник кибернетики, № 4, 191-198 (2017).

METHODS FOR SPACE ANTHROPOMORPHIC ROBOT CONTROL IN VIRTUAL ENVIRONMENT SYSTEMS

M.V. Mikhaylyuk, E.V. Strashnov

Scientific Research Institute for System Analysis of RAS, Moscow, Russia

E-mail: mix@niisi.ras.ru

An anthropomorphic robot is an articulated robot with a human-like structure. Its purpose is to completely or partially replace a human when performing a number of tasks in which grasping, delivery and other manipulations with objects are required. The anthropomorphic robot control can be implemented in copying mode using an exoskeleton worn on the human body, or in automatic mode, which uses pre-prepared programs and robot sensors readings. In the development of automatic robot control systems, it is actually to use virtual models of robots and the environment. This facilitates the process of creating and testing control systems on the one hand, and reduces the risk of failure to real robots on the other hand.

This work proposes methods and approaches for automatic control of virtual anthropomorphic robot to implement grasp, hold and delivery of virtual environment objects. The proposed methods and approaches are based on the use of virtual sensors [1], the solution of inverse kinematics problem [2], and the force control strategy. The grasping and object delivery is performed by control of robot position and orientation for basic parts of the end effector (robotic arm and its fingers). For this purpose, the inverse kinematics problem is considered, in which the robotic arm and fingers are controlled independently of each other. The coordinate descent method with backward joint iterations is used to solve this problem. In the proposed approach, the robot control is realized by the PD controllers, and achievement of desired coordinates for the end effector is verified by comparison with position and orientation of virtual sensors readings. The object is held by the robot based on the relationship between the joint finger torques and the contact forces of the fingers. In this case, the robot control is implemented by determining the discrepancy magnitude between the current and target force values, where the current values are calculated by fingertip force-torque sensors, and the target values are calculated such as to hold the object.

The proposed methods and approaches for anthropomorphic robot control were implemented in virtual environment software complex created in SRISA RAS.

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 17-07-00137).

References:

1. M.V. Mikhaylyuk, E.V. Strashnov and D.M. Loginov, "Sensors simulation in virtual environment systems" Proc. of SRISA RAS, Vol. 8, No. 2, 70-76 (2018).
2. E.V. Strashnov and M.V. Mikhaylyuk, "Simulation of semi-automatic manipulation robot control in virtual environment systems" Bulletin of Cybernetics, No. 4, 191-198 (2017).

3D NUMERICAL STUDY OF AN ANISOTROPIC HEAT TRANSFER IN OUTER LAYERS OF MAGNETIZED NEUTRON STARS

S.G.Moiseenko¹, I.A.Kondratiev¹, G.S.Bisnovaty-Kogan^{1,2}, M.V.Glushikhina¹

¹*Space Research Institute Profsoyuznaya str. 84/32, Moscow 117997, Russia*

²*National Nuclear Research Institute MEPhI, Kashirskoe schosse 32, Moscow 115409, Russia*

moiseenko@iki.rssi.ru

The results of three-dimensional numerical modeling of heat propagation in the outer layers of magnetized neutron stars are presented. Determining the structure of the magnetic field on the surface of a neutron star is an important task of modern astrophysics. In the presence of strong magnetic fields, the thermal conductivity of a degenerate substance is anisotropic. The tensor coefficient of thermal conductivity was obtained earlier in the works of Bisnovaty-Kogan and Glushikhina by solving the Boltzmann equation by the Chapman-Enskog method. The temperature distribution on the surface of a neutron star was obtained for magnetic fields of the dipole and quadrupole type, as well as their superposition. For the numerical simulation of the problem of the stationary temperature distribution in the outer layers of a magnetized neutron star, the development of the support operator method for the three-dimensional case was used. The problem was solved on a grid consisting of tetrahedra.

Acknowledgements : The research was supported by Russian Science Foundation, project No. 18-12-00378.

ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВО ВНЕШНИХ СЛОЯХ ЗАМАГНИЧЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

С.Г.Моисеенко¹, И.А.Кондратьев¹, Г.С.Бисноватый-Коган^{1,2}, М.В.Глушихина¹

¹Институт космических исследований, ул. Профсоюзная 84/32, Москва 117997, Россия

²Национальный исследовательский ядерный институт МИФИ (Московский инженерно-физический институт), Каширское шоссе 32, Москва 115409, Россия

moiseenko@iki.rssi.ru

Представлены результаты трехмерного численного моделирования распространения тепла во внешних слоях намагниченных нейтронных звезд. Определение структуры магнитного поля на поверхности нейтронной звезды является важной задачей современной астрофизики. При наличии сильных магнитных полей, теплопроводность вырожденного вещества анизотропна. Тензорный коэффициент теплопроводности был получен ранее в работах Бисноватого-Когана и Глушихиной путем решения уравнения Больцмана методом Чепмена-Энскога. Было получено распределение температуры на поверхности нейтронной звезды для магнитных полей дипольного и квадрупольного типа, а также их суперпозиции. Для численного моделирования задачи о стационарном распределении температуры во внешних слоях намагниченной нейтронной звезды было применено развитие метода опорных операторов на трехмерный случай. Задача решалась на сетке, состоящей из тетраэдров.

Благодарность: Работа была поддержана Российским Научным фондом, проект 18-12-00378.

РОССИЙСКОЕ ОСВОЕНИЕ ВЕНЕРЫ: ПРЕДЫСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Г.К. Боровин, А.В. Грушевский, А.Г. Тучин, Д.А. Тучин

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Москва, Россия
E-mail: borovin@keldysh.ru*

Отечественные космические миссии к Венере традиционно доминировали в исследованиях Венеры, основная часть фундаментальных знаний о планете получена советскими миссиями в 1961-1985 годах. В те годы к Венере было запущено 18 автоматических станций и совершено 10 посадок – все успешные [1]. НАСА также осуществило два успешных орбитальных проекта «Пионер-Венера» и, позднее — «Магеллан».

После многолетнего перерыва Венера изучалась лишь с орбиты, например, европейским проектом «Венера-Экспресс» (2005-2015 гг.).

Проект «Венера-Д» является следующим шагом после успешной серии миссий «Венера» и «ВеГа» в 1970-1980-х годах. Качественным отличием современного посадочного аппарата от программы «ВеГа» является оснащённость знаниями о геологии поверхности по результатам радарных исследований КА «Венера-15,16» и КА «Магеллан». Посадочный аппарат будет садиться не вслепую, как раньше, а в местность с известным геологическим контекстом.

Разработка экономичных баллистических схем полётов КА к Венере и прохождения её сферы действия актуальна и необходима для увеличения полезной нагрузки КА за счёт снижения массы топлива. Баллистическое проектирование подобных схем, в частности, является существенной составной частью перспективного отечественного проекта «Венера-Д», предусматривающего посадку спускаемого модуля на её поверхность в заданном районе [2].

В работе приводятся результаты использования современных методов баллистического проектирования межпланетных перелётов для планирования полётов к Венере (миссии доставки и, в частности, с целью посадки КА на её поверхность в заданном районе), анализируются способы реализации гесперианских проектов и повышения их эффективности. Основное внимание в работе уделено построению окон старта и методике построения и непосредственному расчёту областей достижимости спускаемого аппарата на поверхности Венеры.

Литература:

1. Borovin G.K., Grushevskii A.V., Zakhvatkin M.V., Zaslavsky G.S., Stepanyantz V.A., Tuchin A.G., Tuchin D.A., Yaroshevsky V.S. Space researches in Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS: Past, Present, Future. *Mathematica Montisnigri*, Vol XLIII (2018). с.с. 101-127
2. Yu. F. Golubev, A. V. Grushevskii, V. V. Koryanov, A. G. Tuchin, D.A. Tuchin Gravity assists near Venus for reaching positions over ecliptic. Resonant asymptotic velocity. Preprints KIAM. 2018. № 222. 20 с. doi:10.20948/prepr-2018-222 URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-222>

RUSSIAN EXPLORATION of VENUS: PAST and PROSPECTS

Borovin G.K., Grushevskii A.V., Tuchin A.G., Tuchin D.A.

Keldysh Institute of applied mathematics RAS

Moscow, Russia

E-mail: borovin@keldysh.ru

Domestic space missions to Venus traditionally dominated in the world research of Venus, and the bulk of the fundamental knowledge about the planet by the Soviet missions in 1961-1985 was obtained. In those years, Venus was launched 18 automatic stations and made 10 landings – all successful [1]. NASA also carried out two successful orbital projects, the “Pioneer-Venus” and later - the “Magellan”.

After a long break, Venus was studied only from orbit, for example, by the European Venus Express project (2005-2015).

The Venus-D project is the next step after the successful series of Venus and VEGA missions in the 1970s and 1980s. The qualitative difference between modern landing craft from the programs "VEGA" is equipped with the knowledge of the geology of the surface according to the results of radar studies of the spacecrafts "Venera 15,16" and the "Magellan" spacecraft. The lander will land not blindly, as before, but in an area with a known geological context.

The development of cost-effective ballistic schemes of spacecraft's flights to Venus and the passage of its scope is relevant and necessary to increase the payload of the spacecraft by reducing the mass of fuel. Ballistic design of such schemes, in particular, is an essential part of the promising domestic project "Venus-D", providing for the landing of the descent module on its surface in a given area [2].

The paper presents the results of the use of modern methods of ballistic design of interplanetary flights for planning flights to Venus (the mission of delivery and, in particular, to land the spacecraft on its surface in a given area), analyzes the methods of implementation of Hesperian projects and improve their efficiency. The main attention is paid to the construction of the launch Windows and the method of construction and direct calculation of the reachability areas of the descent vehicle on the surface of Venus.

References:

1. Borovin G.K., Grushevskii A.V., Zakhvatkin M.V., Zaslavsky G.S., Stepanyantz V.A., Tuchin A.G., Tuchin D.A., Yaroshevsky V.S. Space researches in Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS: Past, Present, Future. *Mathematica Montisnigri*, Vol XLIII (2018). c.c. 101-127
2. Yu. F. Golubev, A. V. Grushevskii, V. V. Koryanov, A. G. Tuchin, D.A. Tuchin Gravity assists near Venus for reaching positions over ecliptic. Resonant asymptotic velocity. Preprints KIAM. 2018. № 222. 20 c. doi:10.20948/prepr-2018-222 URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-222>

ОСОБЕННОСТИ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.А. Павлова

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Elenae312@gmail.com*

Состояние национальной космической отрасли является важным индикатором, определяющим уровень развития Российской Федерации, как передовой космической державы, её статус, компетенции и уровень влияния на международной арене.

Современный уровень и негативные тенденции в российской космонавтике могут служить серьезным вектором, угрожающим потерей статуса мирового космического лидера уже в ближайшем десятилетии.

Так, например, потере статуса мирового космического лидера может предшествовать развитие ГЧП в Российской Федерации и секвестирование программ, реализуемых совместно с Российской академией наук и предприятиями промышленности, направленных на обеспечение безопасности полетов КА российской орбитальной группировки, повышение надежности космических операций в целом, разработку и практическую реализацию принципов глобального управления космическим движением.

Авторитет космической отрасли, как высокотехнологичной и наукоемкой составляющей научно-технического прогресса Российской Федерации необходимо должным образом поддерживать, в том числе, путем принятия верных управленческих решений.

Космическая отрасль отличается сложностью структуры, решаемых ею задач, необходимостью применения перспективного видения и, соответственно, требует применения особых управленческих подходов.

Для формирования положительных тенденций и позитивной динамики отрасли в целом необходимо провести работу, связанную с анализом ключевых элементов системы, в том числе, экономической, технической и административной составляющих, оценкой целесообразности участия коммерческих фирм в космической деятельности при выполнении государственного оборонного заказа и иных аспектов, препятствующих развитию космической отрасли Российской Федерации.

В организации процесса важны правильные подходы к осуществлению управления, позволяющие наиболее качественно и эффективно решать существующие и перспективные задачи с учетом многочисленных особенностей. При управлении сложными структурами, присущими российской космической отрасли, оптимальным вариантом представляется применение системного подхода.

В докладе рассматриваются основные понятия, принципы и подходы, необходимые для управления космической отраслью с использованием усовершенствованных методологических подходов. Предложена оригинальная модель и алгоритм оптимизации системы управления отраслью.

Особенности и ключевые элементы системы управления космической отраслью выявлены путем анализа различного рода имеющихся открытых и специальных источников, статистических данных и учебно-методической литературы.

Литература:

1. «Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу», утвержденные Президентом РФ от 19.04.2013 № Пр-906.
2. «План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года».

ВКЛАД Э.Л. АКИМА В РОССИЙСКУЮ ПРОГРАММУ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев, Г.С. Заславский, В.А. Степаньянц, А.Г. Тучин

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Москва, Россия

E-mail: borovin@keldysh.ru

14 марта 2019 года исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося отечественного ученого, члена-корреспондента РАН Эфраима Лазаревича Акима (1929–2010). Вся профессиональная деятельность Э.Л.Акима была связана с Институтом прикладной математики, куда он пришел на работу сразу после окончания МГУ им.М.В.Ломоносова.

Для выполнения задач, связанных с управлением космическими аппаратами (КА), в Институте был создан отдел, который возглавил Д.Е.Охоцимский. В этот отдел пришел на работу Э.Л. Аким. Ему поручили заниматься проблемами навигации. Этот круг проблем определил дальнейшую научную судьбу Э.Л. Акима. Э.Л. Аким защитил кандидатскую и докторскую диссертации, стал лауреатом Ленинской и трижды лауреатом Государственных премий. Он возглавил Баллистический центр Института, созданный решением М.В. Келдыша и С.П. Королёва, и руководил им до конца своей жизни. Важный этап освоения космического пространства был связан с исследованием Луны. Э.Л. Акиму и его ближайшим сотрудникам принадлежат пионерские результаты в построении модели гравитационного поля Луны. Под руководством Э.Л. Акима были выполнены проектные исследования, связанные с навигационным обеспечением полетов к Луне всех отечественных КА («Луна 1–24»). Наряду с первой мягкой посадкой на поверхность Луны (КА «Луна-9»), следует отметить и первый искусственный спутник Луны — «Луна-10» и КА «Луна-16», впервые осуществившую забор и доставку на Землю образцов лунного грунта.

Для баллистического проектирования полетов КА к Марсу и Венере Э.Л. Акимом (вместе с Т.М. Энеевым) был выполнен анализ динамики движения межпланетных КА, разработана и навигационно обоснована схема первых полетов КА к Венере и Марсу, которая была положена в основу проектирования всех последующих полетов наших КА к этим планетам. К Венере было отправлено 16 КА и в навигационное обеспечение их Э.Л. Аким внес свой творческий вклад. Особо следует отметить работы по созданию первого атласа Венеры, построенного по данным, получаемым с искусственных спутников Венеры - КА «Венера-15» и «Венера-16».

До конца жизни Э.Л. Аким сохранил нацеленность на новое, сразу угадывал перспективные направления. Здесь стоит упомянуть о применении систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС для определения положения космических аппаратов.

Вся жизнь Эфраима Лазаревича Акима — это пример беззаветного служения науке.

E.L. AKIM's HUGE CONTRIBUTION TO THE RUSSIAN SPACE RESEARCH PROGRAM

G. K. Borovin, Yu. F. Golubev, G. S. Zaslavsky, V. A. Stepanyants, A. G. Tuchin

*Keldysh Institute of applied mathematics RAS
Moscow, Russia
E-mail: borovin@keldysh.ru*

On March 14, 2019 the 90th anniversary of birth of the outstanding Russian scientist, corresponding member of the RAS Efraim Lazarevich Akim (1929-2010) was marked. All professional activity of E.L. Akim was connected with the Institute of applied mathematics, where he came to work immediately after graduating from Lomonosov Moscow State University.

To perform tasks related to the management of spacecraft (SC), a department was created at the Institute, which was headed by D.E. Okhotsimsky. E.L. Akim came to work in this department. He was assigned to deal with the problems of navigation. The range of issues identified for further research the fate of Akim. E.L. Akim defended his candidate's and doctoral dissertations, became a laureate of Lenin Prize and three times a laureate of State prizes. He headed the Ballistic center of the Institute and directed it until the end of his life. An important stage of space exploration was associated with the exploration of the moon. Akim and his closest employees have pioneering results in the construction of a model of the gravitational field of the moon. Under the leadership of Akim, project studies were carried out related to the navigation support of flights to the moon of all our SC ("Luna 1-24"). Along with the first soft landing on the surface of the moon (SC "Luna-9"), it should be noted the first artificial satellite of the moon — "Luna-10" and the SC "Luna-16", for the first time carried out the fence and delivery to Earth samples of lunar soil.

After the decision to start designing the ballistic flights of an unmanned spacecrafts to Mars and Venus was made, E.L. Akim (jointly with T.M. Eneev) was performing the analysis of the dynamics of interplanetary spacecraft motion, developed and justified the navigation scheme of the first flights of the spacecraft to Venus and Mars, forming the basis for all subsequent flights of our spacecraft to these planets. Sixteen vehicles were sent to Venus and into the navigation support of their flights an irreplaceable creative contribution by Akim was made. Of particular note is the work on the creation of the first Atlas of Venus, built according to the data obtained from the spacecrafts "Venus-15" and "Venus-16", were located in the orbits of artificial satellites of Venus. Under the leadership of Akim, the mathematical models were developed, allowed to obtain the necessary accuracy of spacecraft navigation for the construction of high-quality images of the planet and its relief.

Until the end of his life, E.L. Akim kept his focus on the new, immediately guessed promising directions. Here it is worth mentioning the use of GPS and GLONASS satellite navigation systems to determine the spatial position of spacecraft.

The whole life of Efraim Lazarevich Akim is an example of selfless service to science.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.А. Воропаев, Г.К. Боровин, Е.А. Павлова, А.И. Стрельцов, М.В. Захваткин

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

voropaev@keldysh.ru, gkborovin@mail.ru, elena312@keldysh.ru, arthur.streltsov@yandex.ru,
zmaxus@gmail.com

Возрастающая угроза столкновения с космическим мусором предъявляет новые требования к задачам обеспечения безопасности полетов космических аппаратов. В ИПМ им. М.В. Келдыша РАН более десяти лет разрабатываются и применяются на практике новые методы изучения космической обстановки в высокоорбитальной области околоземного космического пространства (ОКП).

Развивается международная научно-прикладная кооперация оптико-электронных средств мониторинга ОКП, включающая в себя собственные телескопы Института и партнерских организаций. В Институте создан и эксплуатируется Сегмент мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП). Непрерывно совершенствуются программно-математические средства обеспечения баллистических задач. Осуществляется оперативное прогнозирование опасных ситуаций, непрерывно пополняется база данных о высокоорбитальных космических объектах, включающих в себя действующие КА, разгонные блоки, оперативные фрагменты и прочие объекты космического мусора.

Информационно-аналитический центр, создаваемый с использованием многолетнего задела Научной сети оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ АФН), координируемой ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, в перспективе позволит решать широкий круг задач в области исследования космического пространства, включая актуальные проблемы околоземной астрономии, задачи баллистико-навигационного обеспечения полетов и вопросы безопасности космической деятельности Российской Федерации.

В докладе рассматривается текущее состояние работ Института в части мониторинга ОКП, анализа ситуационной обстановки, обеспечения безопасности полетов космических аппаратов российской орбитальной группировки, поддержка баллистико-навигационных задач управления дальними космическими аппаратами, изучения высокоорбитальной фракции космического мусора в интересах совершенствования модели его распределения.

Результаты, полученные специалистами Института, создают научный задел, необходимый, в том числе, для разработки и внедрения в повседневную практику принципов долгосрочной устойчивости космической деятельности и формирования национальной концепции управления космическим движением.

ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ В.В. БЕЛЕЦКОГО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ИСКУССТВЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев, А.В. Грушевский, А.Г. Тучин

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Москва, Россия*

E-mail: borovin@keldysh.ru

В докладе кратко представлена жизнь и научная деятельность выдающегося учёного-механика, крупного учёного, члена-корреспондента РАН, заслуженного профессора МГУ им. М.В. Ломоносова Владимира Васильевича Белецкого. Его по праву считают одним из отцов-основателей советской и российской школы динамики космического полёта в области теории вращательных движений искусственных и естественных небесных тел.

В 1954 г. он окончил с отличием механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. В том же году В.В. Белецкий был распределен на работу в Отделение прикладной математики МИАН СССР, только что созданное М.В. Келдышем (ныне - Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН). Это определило его научную судьбу как одного из плеяды блестящих ученых - представителей всемирно признанной школы динамики космического полета, основанной М.В. Келдышем и Д.Е. Охоцимским.

В.В. Белецкий практически открыл новую отрасль механики, упростив классические постановки задач и получив в результате такого упрощения основные «скрижали» для механики вращательного движения спутников. На удачных примерах он показал, как их надо использовать, придумал ряд интересных задач вне этих схем, впервые решил стандартные задачи в новой ситуации. В этом смысле Владимир Васильевич Белецкий, с блеском решив ряд указанных задач, явился отцом-основателем целого направления по решению подобных задач, создав научному сообществу для этого соответствующий инструментарий.

В эти же годы В.В. Белецкий впервые в мире поставил общую задачу об определении ориентации спутника и уточнения параметров действующих на него возмущающих моментов по результатам обработки измерений датчиков ориентации, установленных на борту. Он разработал и впервые применил эффективную методику решения этой задачи. Этот подход успешно используется и в наши дни.

Им создана резонансная теория "обобщенных законов Кассини" вращения планет, которая дает строгое обоснование эмпирических законов Кассини вращения Луны (1693).

Научные достижения В.В. Белецкого высоко оценены в России и за рубежом. Он являлся членом Национального Комитета по теоретической и прикладной механике, Заслуженный профессор МГУ (2002), академик Международной академии астронавтики, лауреат премии А. фон Гумбольдта (Германия), лауреат премии РАН им. Ф.А. Цандера. Малая планета № 14790 (открыта 30 июля 1970 г.), названа именем В.В. Белецкого.

FORMATION OF THE MAIN METHODS OF THE SCIENTIFIC SCHOOL OF V.V. BELETSKY STUDYING THE ROTATIONAL MOTIONS OF ARTIFICIAL SATELLITES AND NATURAL CELESTIAL BODIES

G.K. Borovin, Yu.F. Golubev, A.V. Grushevskii, A.G. Tuchin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS
Moscow, Russia
E-mail: borovin@keldysh.ru*

The report briefly presents the life and scientific activities of the outstanding mechanical scientist, a major scientist, corresponding member of RAS, honored Professor of Lomonosov MSU Vladimir V. Beletsky. He is rightly considered one of the founding fathers of the Soviet and Russian school of space flight dynamics in the field of the theory of rotational movements of artificial and natural celestial bodies.

In 1954 he graduated with honors from the faculty of mechanics and mathematics of M.V. Lomonosov Moscow state University. In the same year, V.V. Beletsky was assigned to work in the Department of applied mathematics of the USSR MIAN, just created by M.V. Keldysh (now – the Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS). This determined his scientific destiny as one of the galaxy of brilliant scientists - representatives of the world-renowned school of space flight dynamics, founded by M.V. Keldysh and D.E. Okhotsimsky.

V.V. Beletsky practically opened a new branch of mechanics, simplifying the classical formulation of problems and received as a result of such simplification the main "tablets" for the mechanics of rotational motion of satellites. On successful examples, he showed how they should be used, came up with a number of interesting problems outside these schemes, for the first time solved standard problems in the new situation. In this sense, Vladimir Beletsky brilliantly solved a number of these problems, and was the father-founder of a whole direction to solve such problems, establishing the corresponding tools for the scientific community.

In the same years, V.V. Beletsky for the first time in the world set the General task of determining the actual orientation of the satellite and clarifying the parameters of the perturbing moments acting on it based on the results of processing the measurements of the orientation sensors installed on Board. He developed and applied an effective method of solving this problem. This approach is successfully used today.

They created a resonance theory of "generalized Cassini's laws" of planetary rotation, which gives a rigorous justification of the empirical laws of Cassini of the moon's rotation (1693).

V.V. Beletsky's scientific achievements are highly appreciated in Russia and abroad. He was awarded the title of corresponding member of the RAS, was a member of the National Committee for theoretical and applied mechanics. He is an Honored Professor of Moscow state University (2002), academician of the International Academy of Astronautics, laureate of A. von Humboldt prize (Germany), laureate of RAS. F.A. Tsander. The small planet № 14790 (opened July 30, 1970), was named after V.V. Beletsky.

МЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИММЕТРИЧНЫХ ДВУМЕРНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ВОЛЬФРАМА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Яшина М.В.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ), Москва

Имеется бинарное изображение некоторого объекта. Проблема состоит в построении симметричного двумерного клеточного автомата Вольфрама для детектирования формы объекта. Данная задача возникает в сфере искусственного интеллекта для проектирования алгоритмов машинного зрения, при мониторинге автотранспортных средств в Интеллектуальных транспортных системах и др. В одномерном случае для элементарных клеточных автоматов в классификации Вольфрама выделены типы автоматов, сохраняющих массу.

Расстояние Левенштейна используется как трансформационная метрика в компьютерной лингвистике. Обобщение ее на двумерный случай может быть использовано и для анализа изображений. В работе исследуются типы двумерных клеточных автоматов Вольфрама для построения быстрых алгоритмов обработки изображения, сохраняющих формы объектов при масштабировании и поворотах.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ, грант № 17-29-0319-офи-м.

Литература:

1. G. Loy, N. Barnes. "Fast shape-based road sign detection for a driver assistance system" Proc. Of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Vol. 1, pp. 70-75 (2004)
2. C. P. Klingenberg, M. Barluenga, A. Meyer. "Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry." Evolution, 56(10), pp.1909-1920 (2002)
3. B. Machilsen, M. Pauwels, J. Wagemans (2009). The role of vertical mirror symmetry in visual shape detection. Journal of vision, 9(12), 11-11.
4. A.P. Buslaev, M.V. Yashina, V.B. Yashin. "On Recovery of 3-D Objects by Projections". Proc. IPCV, pp. 873-881 (2010)
5. V. F. Tishkin, M. V. Yashina, M. S. Moseva, V. B. Yashin "Method of the GPS tracking analysis for extraction of geometrical properties". Proc. Of the 2018 IEEE International Conference "Quality management, transport and information security, information technologies"(IT&QM&IS) pp. 266-270 (2018)
6. M.V. Yashina, A.S. Dotkulova, N.P. Susoev, M.J. Fomina. "Infocommunication Measurements for Model Validation of the Follow-the-Leader Model". Proc. Of the International Conference on Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, pp. 1-7 (2019)
7. A.P. Buslaev, N.J. Wang, J.M. Guo, M.V. Yashina. "On recovery of plane object shape by projection". Proc. of the 2009 International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition, IPCV pp. 222-226 (2009)

SOLUTION OF THE KORTEWEG DE VRIES EQUATION USING AN IMPLICIT TWO-LAYER DIFFERENCE SCHEME ON AN EULER GRID

E.N. Bykovskaya¹, A.V. Shapranov^{1,2}, V.I. Mazhukin^{1,2}

¹*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Russia, Moscow*

e-mail: vim@modhef.ru

In this paper we consider the Korteweg de Vries equation (KDV) and its numerical solution. A distinctive feature of this equation is the fact that any initial perturbation exponentially decaying at infinity evolves over time into a finite set of solitons spaced in space. For the formation of soliton solutions the most important role is played by the competition of nonlinearity and dispersion. As a rule, monotonic 3-layer difference schemes are used for the numerical solution of KDV [1]. In this paper, when considering different variants of initial perturbations, soliton solutions were obtained on an implicit two-layer difference scheme, decay into a group of solitons were obtained, and the process of interaction of two solitons with each other was shown. An analytical solution in the form of a traveling wave was also obtained and compared with a numerical solution. Fig. 1 shows the process of interaction of two solitons with each other at different times: Fig.1a-initial perturbation, Fig.1b-the beginning of the interaction at time $t=5$ and Fig.1c - the process of divergence of solitons at time $t=6$.

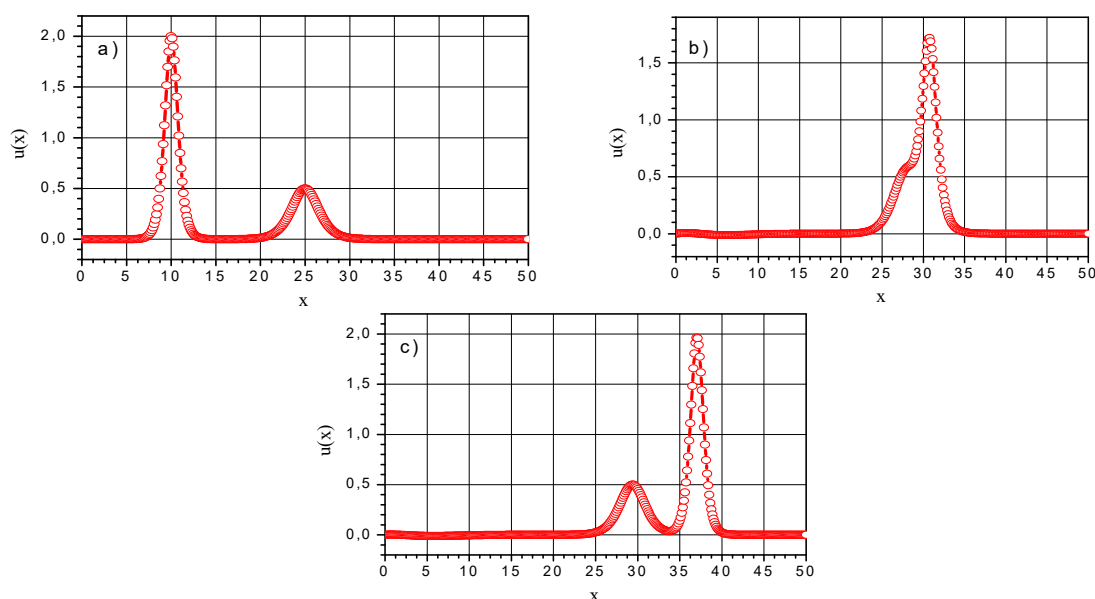


Fig. 1.

Acknowledgements: This work was supported by RFBR (project № 19-07-01001).

References:

1. A.A.Samarskij, V.I.Mazhukin, P.P.Matus, I.A. Mihailik. L_2 -konservativny'e sxemy` dlya uravneniya Kortevega-de Vriza. Doklady`. RAN, .357(4), 458-461 (1997)

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА ДЕ-ВРИЗА С ПОМОЩЬЮ НЕЯВНОЙ ДВУХСЛОЙНОЙ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ НА ЭЙЛЕРОВОЙ СЕТКЕ

Е.Н.Быковская¹, А.В.Шапранов^{1,2}, В.И.Мажукин^{1,2}

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва
e-mail: vim@modhef.ru

В настоящей работе рассматривается уравнение Кортевега де-Вриза (КдВ) и его численное решение. Отличительной особенностью данного уравнения является тот факт, что любое начальное возмущение, экспоненциально спадающее на бесконечности, с течением времени эволюционирует в конечный набор солитонов, разнесенных в пространстве. Для образования солитонных решений наиболее важную роль играет конкуренция нелинейности и дисперсии. Как правило, для численного решения КдВ используются монотонные 3-х слойные разностные схемы [1]. В данной работе при рассмотрении различных вариантов начальных возмущений, были получены солитонные решения на *неявной двухслойной разностной схеме*, распад на группу солитонов и показан процесс взаимодействия двух солитонов друг с другом. Также было получено аналитическое решение в виде бегущей волны и проведено его сравнение с численным решением. На рис.1 представлен процесс взаимодействия двух солитонов друг с другом в различные моменты времени: рис.1а-начальное возмущение, рис.1б-начало взаимодействия в момент времени $t=5$ и рис.1с-процесс расхождения солитонов в момент времени $t=6$.

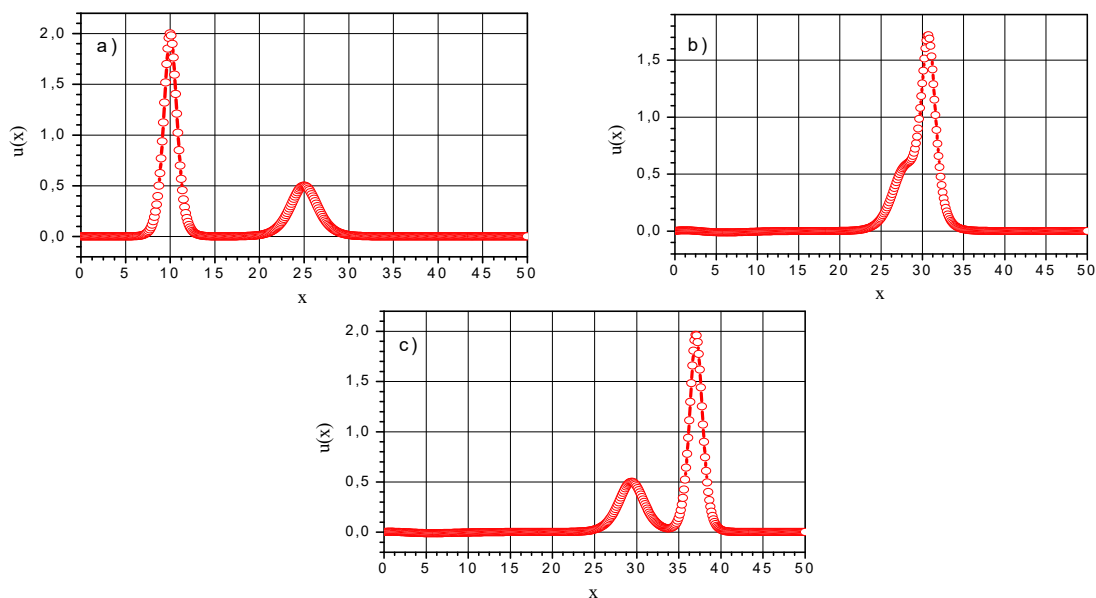


Рис.1

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-07-01001.

Литература:

1. А.А.Самарский, В.И.Мажукин, П.П.Матус, И.А.Михайлик. L_2 -консервативные схемы для уравнения Кортевега-де Вриза. Доклады. РАН, 357(4), 458-461 (1997)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ DG-СХЕМЫ ПРИ РАСЧЕТЕ РЕШЕНИЙ С УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

М.Е.Ладонкина^{1,2}, О.А.Неклюдова^{1,2}, В.В.Остапенко^{2,3}, В.Ф.Тишкин^{1,2}

¹Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Москва, Миусская пл., 4

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

³Новосибирский гос. ун-т, Новосибирск

ladonkina@imamod.ru, nek_olga@mail.ru, ostapenko_vv@ngs.ru, v.f.tishkin@mail.ru

В работе [1] был предложен метод построения комбинированных схем сквозного счета, которые монотонно локализуют фронты ударных волн и одновременно сохраняют повышенную точность в областях гладкости рассчитываемых обобщенных решений. В настоящей работе предложена новая комбинированная схема, построенная на основе DG (Discontinuous Galerkin) метода. Приведены результаты расчетов по этой схеме ударных волн, возникающих при решении уравнений теории мелкой воды и уравнений Эйлера.

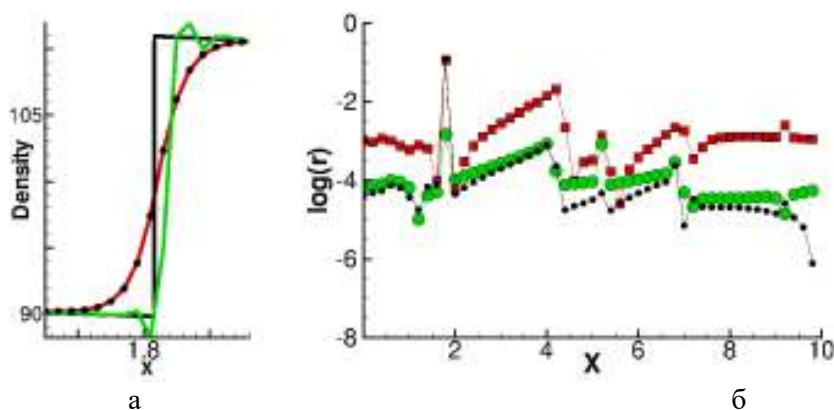


Рис. 1. (а) Профили плотности, (б) относительные ошибки численного решения

На рис 1а приведены значения плотности газа в окрестности фронта ударной волны при решении уравнений Эйлера; черная линия – точное решение, зеленая линия – расчет по DG-методу без коррекции потоков, красная линия – расчет по DG-методу с коррекцией потоков на основе ограничителя Кокбурна, черные точки – расчет по комбинированной DG-схеме. На рис 1б показаны ошибки численного решения для DG-метода без коррекции (зеленые кружки), для DG-метода с коррекцией (красные квадратики) и для комбинированной DG-схемы (черные точки). Из этих расчетов следует, что предложенная комбинированная DG-схема монотонно локализует фронт ударной волны и одновременно сохраняют повышенную точность в области ее влияния.

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-11-10033).

Литература:

1. Ковыркина О.А., Остапенко В.В. О построении комбинированных разностных схем повышенной точности // Докл. АН, 2018. Т. 482. № 6. С. 63–74.

ON THE ACCURACY OF A COMBINED DG SCHEME COMPUTING SOLUTIONS WITH SHOCK WAVES

M.E.Ladonkina^{1,2}, O.A.Nekliudova^{1,2}, V.V.Ostapenko^{2,3}, V.F.Tishkin^{1,2}

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

²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Lavrentyev av. 15, Novosibirsk, 630090, Russia

³Novosibirsk State University, Pirogova st. 2, Novosibirsk, 630090, Russia

ladonkina@imamod.ru, nek_olga@mail.ru, ostapenko_vv@ngs.ru, v.f.tishkin@mail.ru

In [1], a method was proposed for constructing combined end-to-end computational schemes that monotonously localize the fronts of shock waves and at the same time retain increased accuracy in the smoothness regions of the calculated generalized solutions. This paper proposes a new combined scheme based on the DG (Discontinuous Galerkin) method. The results of calculations according to this scheme of shock waves arising in solving the equations of the theory of shallow water and the Euler equations are given.

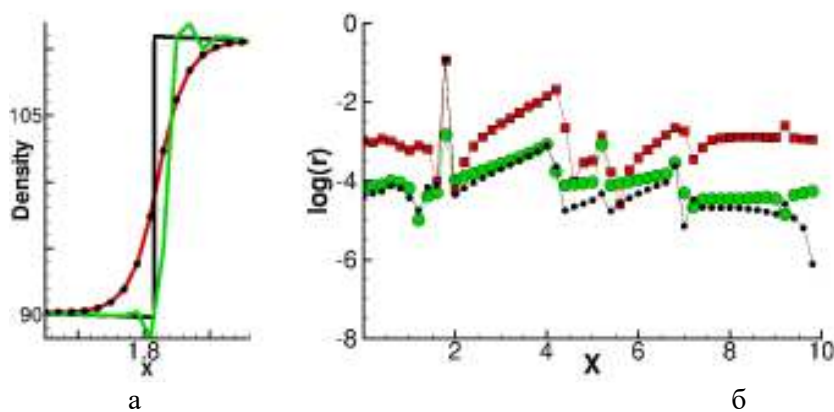


Fig. 2. (a) Density, (b) relative errors of numerical solution

Figure 1a shows the gas density in the vicinity of the shock wave front when solving the Euler equations; the black line is the exact solution, the green line is the numerical solution by the DG method without flux correction, the red line is the calculation by the DG method with flux correction based on the Cockburn limiter, the black dots correspond to the calculation by combined DG scheme. Figure 1b shows the errors of numerical solution for the DG method without correction (green circles), for the DG method with correction (red squares), and for the combined DG scheme (black dots). From these calculations, it follows that the proposed combined DG scheme monotonously localizes the front of the shock wave and at the same time retains increased accuracy in the area of its influence.

Acknowledgments: The work was carried out with support by the Russian Science Foundation (grant № 16-11-10033).

References:

1. Kovyorkina O.A., Ostapenko V.V. On the construction of Combined finite-difference schemes of high accuracy//Doklady Mathematics, 2018. T. 97. № 1. C. 77–81.

ON A NEW SPLITTING-BASED NUMERICAL APPROACH FOR NAVIER-STOKES EQUATIONS

O.B. Feodoritova¹, V.T. Zhukov¹

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

e-mail: feodor@kiam.ru, zhukov@kiam.ru

A new splitting-based scheme is developed for time integration of the three-dimensional, compressible Navier-Stokes system for the viscous and heat conducting gas flow. The scheme is based on the partition of the algorithm into convection (hyperbolic) and diffusion (parabolic) parts. Integrating the Navier-Stokes system over the dual volumes associated with the nodes of unstructured grid we write the semi-discrete finite-difference scheme

$$\Omega dU/dt + F^{conv}(U) + F^\mu(U) + F^\lambda(U) = 0, \quad (1)$$

here $U = (\rho, \rho u_1, \rho u_2, \rho u_3, E)$ is the vectors of unknowns (density, components of the momentum vector and the total energy) at grid nodes, Ω is the diagonal matrix whose elements are the volumes of dual cells, F^{conv} , F^μ , F^λ are numerical approximations of the convective, viscous and heat fluxes across the interfaces of dual cells. We assume that the convective fluxes are determined by solving the Riemann problems at cell interfaces (exactly or approximately), diffusion fluxes are obtained by the finite element approximations. We integrate the equation (1) for a time interval $[t_n, t_{n+1}]$, where $t_{n+1} = t_n + \tau_{conv}$, τ_{conv} is a time step, restricted by the convective stability condition. The solution U^{n+1} at the new time level t_{n+1} is obtained using the values $U^n = (\rho, \rho u_1, \rho u_2, \rho u_3, E)^T$ at the time level t_n in two substeps. The hyperbolic substep is carried out using a Godunov-type scheme with τ_{conv} . The parabolic substep solves two parabolic equations with the same time step τ_{conv} :

$$dH^\mu/dt + D^\mu V^\mu = g^\mu, \quad dH^\lambda/dt + D^\lambda V^\lambda = g^\lambda.$$

Here D^μ , D^λ are self-adjoint discrete operators defined by fluxes F^μ , F^λ . The grid functions H^μ , V^μ are the momentum and velocity vectors, and the functions H^λ , V^λ are the total energy $E = \rho(e + 0.5u^2)$ and temperature T . We assume that temperature T is associated with the internal energy e by the equation of state $e = e(T)$. The parabolic substep is implemented by the explicit-iterative scheme [1] with Chebyshev's parameters, the number of the iterations is determined by τ_{conv} and the upper bounds of the operators D^μ , D^λ . The main advantages of this integration scheme are fulfilment of conservation laws and the efficiency of parallel implementation. Numerical experiments confirm the effectiveness of this approach.

Acknowledgements: This work is supported by the Russian Science Foundation, project № 17-71-30014.

References:

1. Zhukov V.T., Feodoritova O.B., Duben A.P., Novikova N.D. "An explicit time integration of the Navier-Stokes equations using the local iteration scheme". Keldysh Institute preprint, № 12, (2019).

О НОВОЙ СХЕМЕ РАСЩЕПЛЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

В.Т. Жуков¹, О. Б. Феодоритова¹

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
e-mail: zhukov@kiam.ru, feodor@kiam.ru

Разработана новая схема расщепления по физическим процессам для интегрирования по времени системы нестационарных трехмерных уравнений динамики сжимаемого теплопроводного газа. Схема основана на разделении алгоритма решения уравнений Навье-Стокса на конвективный (гиперболический) и диффузионный (параболический) этапы. Интегрируя по дуальным объемам, ассоциированным с узлами неструктурированной сетки, запишем полудискретную схему

$$\Omega dU/dt + F^{conv}(U) + F^\mu(U) + F^\lambda(U) = 0, \quad (1)$$

где $U = (\rho, \rho u_1, \rho u_2, \rho u_3, E)$ – вектор неизвестных (плотность, компоненты вектора импульса и полная энергия) в узлах сетки, Ω – диагональная матрица, элементами которой являются дуальные объемы, F^{conv} , F^μ , F^λ – аппроксимации конвективного, вязкого и теплового потоков. Конвективные потоки определены с помощью решения задач Римана, диффузионные потоки – конечно-элементными аппроксимациями [1]. Проинтегрируем уравнение (1) по времени на интервале $[t_n, t_{n+1}]$, где $t_{n+1} = t_n + \tau_{conv}$, τ_{conv} – некоторый шаг, ограниченный конвективным условием устойчивости. Расчет переменных U^{n+1} на слое t_{n+1} по значениям $U^n = (\rho, \rho u_1, \rho u_2, \rho u_3, E)^T$ со слоя t_n является двухэтапным. Гиперболический этап реализуется по схеме годуновского типа с шагом τ_{conv} . Параболический этап состоит в интегрировании с шагом τ_{conv} уравнений

$$dH^\mu/dt + D^\mu V^\mu = g^\mu, \quad dH^\lambda/dt + D^\lambda V^\lambda = g^\lambda.$$

Здесь D^μ, D^λ – сеточные самосопряженные операторы, определяемые потоками F^μ, F^λ . Далее H^μ, V^μ – векторы импульса и скорости, H^λ, V^λ – полная энергия $E = \rho(e + 0.5u^2)$ и температура T . Предполагаем, что температура T связана с внутренней энергией e уравнением состояния $e = e(T)$. Параболический этап реализуется с помощью явно-итерационной чебышевской схемы [1] с числом итераций, определяемым шагом τ_{conv} и верхними границами операторов D^μ, D^λ .

Достоинствами предложенной схемы являются выполнение законов сохранения и эффективность параллельной реализации. Численные эксперименты подтверждают работоспособность данного подхода.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ №17-71-30014.

Литература:

1. Жуков В.Т., Феодоритова О.Б., Дубень А.П., Новикова Н.Д. “Явное интегрирование по времени уравнений Навье–Стокса с помощью метода локальных итераций”, Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша, 12 (2019).

ВОПРОСЫ ЛИМИТИРОВАНИЯ В РАЗРЫВНОМ МЕТОДЕ ГАЛЕРКИНА

М.Е.Ладонкина¹, О.А.Неклюдова¹, [В.Ф.Тишкин¹](#)

¹*Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Москва, Миусская пл., 4*
ladonkina@imamod.ru, nek_olga@mail.ru, v.f.tishkin@mail.ru

В последние два десятилетия особенно активно развивается метод Галеркина с разрывными базисными функциями. Данный метод относится к численным методам высокой точности. Он обеспечивает заданный порядок точности, причем на неструктурированных сетках [1]. Как известно, для обеспечения монотонности решения, полученного данным методом, необходимо вводить так называемые ограничители наклона, или лимитеры, в особенности в том случае, если решение содержит сильные разрывы. В настоящее время, в ряде работ показано, что применение лимитеров может отрицательно сказаться на точности получаемого решения. Поэтому вопрос сохранения порядка точности решения и обеспечения монотонности решения в настоящий момент остается актуальным.

В данной работе рассмотрены лимитирующие функции, наиболее часто применяемые в программных комплексах. Наиболее широко используемым для расчетов на тетраэдральных сетках, является классический лимитер Кокбурна [1]. Идею данного лимитера возможно реализовать в многомерном случае и на сетках произвольной структуры. Однако, данный лимитер, как и все TVD лимитеры снижает точность получаемого решения. Для структурированных сеток наиболее эффективным лимитером, сохраняющим повышенный порядок точности, является «моментный» лимитер [2]. Существуют и другие подходы к созданию лимитера повышенного порядка точности – это ограничитель на основе WENO-реконструкции [3] и сглаживающий оператор нового типа на основе усреднения решений, учитывающий скорость изменения решения и скорость изменения его производных [4]. Наиболее простым в реализации на многомерных неструктурированных сетках является Slope-лимитер [5]. Однако и этот лимитер не лишен недостатков, т.к. его применение не гарантирует подавление нефизических осцилляций.

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-71-30014).

Литература:

1. Cockburn B. An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations // Lecture Notes in Mathematics, 1998. V. 1697. P. 151-268.
2. Krivodonova L. Limiters for high-order discontinuous Galerkin methods// Journal of Computational Physics, 226:1 (2007), 276–296
3. Zhong X., Shu C.-W.: A simple weighted essentially non oscillatory limiter for Runge-Kutta discontinuous Galerkin methods. Journal of Computational Physics 232, 397- 415, (2013)
4. Ладонкина М. Е., Неклюдова О. А. , Тишкин В. Ф. Построение лимитера для разрывного метода Галеркина на основе усреднения решения//Матем. моделирование, 2018, том 30,номер 5, страницы 99–116.
5. Yasue K., Furudate M., Ohnishi N. and K. Sawada Implicit discontinuous Galerkin method for RANS simulation utilizing pointwise relaxation algorithm //Communications in Computational Physics,vol.7,no.3,pp.510–533,2010.

LIMITING IN DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD

M.E.Ladonkina¹, O.A.Nekliudova¹, V.F.Tishkin¹

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, Moscow, 125047, Russia*
ladonkina@imamod.ru, nek_olga@mail.ru, v.f.tishkin@mail.ru

In the past two decades, the Galerkin method with discontinuous basic functions has been actively developed. This method one of the numerical methods of high accuracy. It provides a given order of accuracy even on unstructured grids [1]. As is known, to ensure the monotony of the solution obtained by this method, it is necessary to introduce so-called slope limiters, especially if the solution contains strong gaps. Currently, a number of papers have shown that the use of limiters can negatively affect accuracy of the resulting solution. Therefore, the question of preserving the order of accuracy of the solution and ensuring the monotony of the solution remains relevant today.

In this paper, the limiting functions most often used in software packages are considered. The most widely used for calculations on tetrahedral grids is the classic Cockburn limiter [1]. The idea of this limiter can be implemented in the multidimensional case on the grids of arbitrary structure. However, this limiter, like all TVD limiters, reduces the accuracy of the resulting solution. For structured grids, the most effective limiter that maintains an increased order of accuracy is the “moment” limiter [2]. There are other approaches to creating a limiter of increased order of accuracy - this is a limiter based on WENO-reconstruction [3] and a smoothing operator of a new type based on averaging solutions, taking into account the rate of change of the solution and the rate of change of its derivatives [4]. The most simple to implement on multidimensional unstructured grids is the Slope limiter [5]. However, this limiter has its drawbacks, since its use does not guarantee the suppression of non-physical oscillations.

Acknowledgments: The work was carried out with support by the Russian Science Foundation (grant № 17-71-30014).

References:

1. Cockburn B. An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations // Lecture Notes in Mathematics, (1998). V. 1697. P. 151-268.
2. Krivodonova L. Limiters for high-order discontinuous Galerkin methods// Journal of Computational Physics, 226:1 (2007), 276–296
3. Zhong X., Shu C.-W.: A simple weighted essentially non oscillatory limiter for Runge-Kutta discontinuous Galerkin methods. Journal of Computational Physics 232, 397- 415, (2013)
4. Ladonkina M.E., Nekliudova O.A., Tishkin V.F. Construction of the limiter based on averaging of solutions for discontinuous Galerkin method//Math. modeling, 2018, vol. 30, no 5, pp. 99–116.
5. Yasue K., Furudate M., Ohnishi N. and K. Sawada Implicit discontinuous Galerkin method for RANS simulation utilizing pointwise relaxation algorithm //Communications in Computational Physics, vol.7,no.3,pp.510–533, (2010).

ON THE POSSIBILITY OF CONSTRUCTING WENO SCHEMES CONSERVING INCREASED ACCURACY IN THE AREAS OF SHOCK INFLUENCE

O. A. Kovyorkina¹, V. V. Ostapenko^{1,2}

¹*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Lavrentyev avenue, 15, Novosibirsk, 630090, Russia*

²*Novosibirsk State University, Pirogova street, 2, Novosibirsk, 630090, Russia
olyana@ngs.ru*

In [1, 2] we had proposed a method for constructing combined shock-capturing schemes that monotonically localize the shock and at the same time preserve increased accuracy in all areas of smoothness of the calculated weak solutions. In the combined scheme a basic non-monotonic scheme is used, which has an increased order of convergence in the regions of shock influence. According to the basic scheme, the difference solution is constructed in the entire computational domain. In the vicinity of large gradients, where this solution has non-physical oscillations, it is corrected by numerically solving internal initial-boundary value problems using one of the NFC (Nonlinear Flux Correction) schemes. The symmetric compact scheme [3] of the third order of weak approximation was used as the basic scheme in [1], and in [2] was used the Rusanov scheme [4] of the third order of the classical approximation. In both cases the CABARET scheme [5] of the second order on smooth solutions was used as the internal NFC scheme.

The main disadvantage of the combined schemes proposed in [1, 2] is that the corresponding basic and internal schemes have a significantly different type, which leads to certain difficulties in the implementation of the numerical algorithm on the boundary of the internal computational domain. Therefore, the purpose of this work is to study the possibility of constructing new combined schemes, in which this deficiency is absent. In these schemes the non-monotonic versions (without weights) of the WENO schemes [6] are used as the basic algorithms, and the NFC versions of these schemes (with appropriate weights) are used as the internal algorithms.

Acknowledgements: The work was carried out with support by the Russian Science Foundation (grant No. 16-11-10033).

References:

1. O.A. Kovyorkina, V.V. Ostapenko, "On the construction of combined finite-difference schemes of high accuracy" Dokl. Math., Vol. 97 (1), 77-81 (2018)
2. N.A. Zyuzina, O.A. Kovyorkina, V.V. Ostapenko, "Monotone finite-difference scheme preserving high accuracy in regions of shock influence" Dokl. Math., Vol. 98 (2), 506-510 (2018)
3. V.V. Ostapenko "Construction of high order accurate shock capturing finite-difference schemes for unsteady shock waves" Comput. Math. Math. Phys., Vol. 40 (12), 1784-1800 (2000)
4. V.V. Rusanov "Third-order accurate shock-capturing schemes for computing discontinuous solutions" Dokl. Akad. Nauk SSSR, Vol. 180 (6), 1303-1305 (1968) [in Russian]
5. S.A. Karabasov, V.M. Goloviznin "Compact accurately boundary-adjusting high-resolution technique for fluid dynamics" J. Comput. Phys., Vol. 228, 7426-7451 (2009)
6. G.S. Jiang, C.W. Shu, "Efficient implementation of weighted ENO schemes" J. Comput. Phys., Vol. 126, 202-228 (1996)

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ WENO-СХЕМ, СОХРАНЯЮЩИХ ПОВЫШЕННУЮ ТОЧНОСТЬ В ОБЛАСТЯХ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН

О. А. Ковыркина¹, В. В. Остапенко^{1,2}

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, пр. ак. Лаврентьева, 15,
Новосибирск, 630090, Россия

²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия
olyana@ngs.ru

В [1, 2] предложен метод построения комбинированных схем сквозного счета, которые монотонно локализуют фронты ударных волн и в то же время сохраняют повышенную точность во всех областях гладкости рассчитываемых обобщенных решений. В комбинированной схеме используется базисная немонотонная схема, которая имеет повышенный порядок сходимости в областях влияния ударных волн. По базисной схеме разностное решение строится во всей расчетной области. В окрестностях больших градиентов, где это решение имеет нефизические осцилляции, оно корректируется путем численного решения внутренних начально-краевых задач с использованием одной из NFC (Nonlinear Flux Correction) схем. В качестве базисной схемы в [1] использовалась симметричная компактная схема [3] третьего порядка слабой аппроксимации, а в [2] – схема Русанова [4] третьего порядка классической аппроксимации. В обоих случаях в качестве внутренней NFC схемы использовалась схема CABARET [5] второго порядка на гладких решениях.

Основным недостатком комбинированных схем, предложенных в [1, 2], является то, что соответствующие им базисные и внутренние схемы имеют существенно различный тип, что приводит к определенным трудностям при реализации численного алгоритма на границе внутренней вычислительной области. Поэтому целью данной работы является изучение возможности построения новых комбинированных схем, в которых этот недостаток отсутствует. В этих схемах немонотонные варианты (без весов) схем WENO [6] используются в качестве основных алгоритмов, а NFC версии этих схем (с соответствующими весами) используются в качестве внутренних алгоритмов.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-11-10033).

Литература:

1. О.А.Ковыркина, В.В.Остапенко, “О построении комбинированных разностных схем повышенной точности” Докл. АН., Т. 478 (5), 517-522 (2018)
2. Н.А.Зюзина, О.А.Ковыркина, В.В.Остапенко, “Монотонная разностная схема, сохраняющая повышенную точность в областях влияния ударных волн” Докл. АН., Т. 482 (6), 639-643 (2018)
3. В.В.Остапенко, “О построении разностных схем повышенной точности для сквозного расчета нестационарных ударных волн” ЖВМиМФ, Т. 40 (12), 1857-1874 (2000)
4. В.В.Русанов, “Разностные схемы третьего порядка точности для сквозного счёта разрывных решений” Докл. АН СССР, Т. 180 (6), 1303-1305 (1968)
5. S.A.Karabasov, V.M.Goloviznin “Compact accurately boundary-adjusting high-resolution technique for fluid dynamics” J. Comput. Phys., Vol. 228, 7426-7451 (2009)
6. G.S.Jiang, C.W.Shu, “Efficient implementation of weighted ENO schemes” J. Comput. Phys., Vol. 126, 202-228 (1996)

WEIGHT MODIFICATION OF IMPROBABLE EVENTS REGISTRATION ALGORITHM IN SUPERCOMPUTER SIMULATION OF RADIATION TRANSPORT

Roman V. Uskov, Kseniya K. Inozemceva, Mikhail E. Zhukovsky
Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia
roman.uskov@gmail.com

Radiation transport simulation using Monte-Carlo method is based on random trajectories construction. The trajectories are constructed for particles of the photon-electron cascade [1] developed in matter. It is important to maximize statistical value of every trajectory. Problem becomes crucial in cases where measured value is contributed by improbable events. There are good examples of that scenario. First is measuring the flux of electrons emitting from thick plate being under X-radiation. Second is measuring the energy deposit into bremsstrahlung detector behind the target of the electron accelerator.

Most of the photons in first example will either fly through the plate without interaction or interact with matter deep in the plate. The electrons burning as the result of the interaction are unable to emit and the photon trajectories in these cases will have zero statistical value.

The bremsstrahlung photon in second example must interact within the lightweight detector rather than heavy target to have non-zero statistical value. The probability of this event is extremely low. That make modelling of such trajectories very inefficient.

The general approach of solving such problems is developed. The idea is to introduce special “areas of interest” around the volumes where values involving electrons interaction are measured (charge, current, energy deposit). These areas are defined by bounding surfaces very similar to how objects and detecting areas are defined. The size of the area is chosen basing on the electron stopping path to maximize its (area) efficiency.

Photon trajectories intersecting such areas are split into parts having corresponding statistical weight [2]. One part of the photon outside the area of interest interacts “as usual” while the others interact within the areas of interest explicitly. This allows generating the electron close to the area where it can give statistical contribution in the measured value.

Supercomputer simulation examples showing the efficiency of the developed approach used for finely dispersed medium are given.

Acknowledgments: This work is partially supported by Russian Fund for Basic Researches, grant N 18-01-00582.

References:

1. M. E. Zhukovskiy and R. V. Uskov. Hybrid Parallelization of the Algorithms of Radiation Cascade Transport Modelling. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2015, Vol. 7, No. 6, pp. 601–610.
2. I. M. Sobol', *Chislennyye metody Monte-Carlo*, M.: Nauka (1973).

ВЕСОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА РЕГИСТРАЦИИ МАЛОВЕРОЯТНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.В. Усков, К.К. Иноземцева, М.Е. Жуковский, М.Б. Марков
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
roman.uskov@gmail.com

Моделирование переноса излучения в веществе методом Монте-Карло, основано на построении случайных траекторий частиц каскада [1]. Максимизация статистического вклада траекторий частиц (статистической ценности траекторий) важна, когда измеряемая величина (значения функционала на пространстве решений уравнения переноса) определяется маловероятными событиями. Примерами, демонстрирующими проблему, являются оценка потока электронов, эмитирующих с граничных поверхностей объекта, находящегося под воздействием рентгеновского излучения, а также оценка энерговыделения в детекторе тормозного излучения, находящемся за мишенью, облучаемой электронами ускорителя. В первом примере большая часть фотонов будет пролетать через пластину без взаимодействия, их траектории будут иметь нулевую статистическую ценность. Во втором примере фотон должен взаимодействовать с легким детектором, чтобы внести статистический вклад в энерговыделение в данном детекторе. Однако большая часть генерируемого тормозного излучения будет взаимодействовать с тяжелой мишенью, а не с легким детектором, что делает моделирование таких траекторий статистически неэффективным.

Разработан общий подход к решению указанных проблем. Идея заключается во введении специальных «областей интереса» – объемов вокруг детекторов, регистрирующих электроны (энерговыделение, поток электронов, ток, заряд). Эти объемы описываются ограничивающими поверхностями. Размер области выбирается таким образом, чтобы ее границы отстояли от границ детектора на расстояние, равное тормозному пути электрона.

Фотонная траектория, пересекающая такую область, разбивается на две части, имеющие соответствующие статистические веса. Фотон одной части моделируется «обычным» образом. Фотон другой части явно взаимодействует внутри «области интереса». Это позволяет генерировать электроны в непосредственной близости от детектора, значительно увеличивая статистическую ценность траектории фотона. Подобное расщепление траектории [2] дает электрону высокую вероятность пересечь детектор и оставить в нем соответствующий вклад в измеряемую величину.

Проведены примеры суперкомпьютерного моделирования переноса излучения в мелкодисперсных средах с применением разработанного подхода.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-01-00301 и № 18-01-00582

Ссылки.

1. М. Е. Zhukovskiy and R. V. Uskov. Hybrid Parallelization of the Algorithms of Radiation Cascade Transport Modelling. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2015, Vol. 7, No. 6, pp. 601–610.
2. I. M. Sobol', *Chislennye metody Monte-Carlo*, М.: Nauka (1973).

LINER FORM INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF THE FORMATION OF A CUMULATIVE JET IN SQUIB

B.P. Rybakin¹, M.N. Kravchenko²

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

²*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow*
kravchenko.m@gubkin.ru

The work is devoted to the numerical simulation of a gas-metal-liquid jet formation during the initiation of a charge of solid explosive inside the shell device. The purpose of the study is to optimize the form of the squib used in the oil and gas industry. The advantage of cumulative perforators over other technological schemes is the ability to create elongated channels in complex targets.

The paper proposed a mathematical model for calculating the initiation of a shaped charge, followed by deformation and destruction of the charge body, the appearance of a cumulative jet penetrating through the metal layer and casing. The shape of the inner shell, called the liner, significantly affects to the cumulative jet characteristics. The outer shell of the projectile, as a rule, is made of steel, the inner one can be made of both steel of various thickness, and of aluminum, copper, tungsten or other metals. You can achieve an increase in the length of the channel in the target by 20-25% due to changes in the parameters of the liner. In experimental and theoretical works, it was found that at angles less than 13° the jet has insufficient force. When the angle at the tip of the liner cone changes from 13° to 46°, the jet speed gradually increases, and then at jet angles greater than 46° the jet speed decreases.

The original program code was created based on a mathematical model [1], which allowed to calculate the detonation of solid explosives, deformation of the igniter shell when varying the following parameters: the material of the outer shell and liner, explosive, and the shape of the squib.

Mathematical modeling of charge initiation with subsequent penetration of a cumulative jet into a combined barrier allows optimizing the charge characteristics and cumulative perforator design taking into account the geometry of the charge arrangement, as well as improving the hydrodynamic connection between the oil and gas reservoir and well. The reservoir macrofracturing is simulated by splitting the Lagrangian computational grid.

It is established that for a given form of steel pyrocartridge, the speed of the jet substantially depends on the angle and has a maximum value of 4785 m/sec at an angle of a conical liner of 38°.

Acknowledgements: This work was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research №18-07-01303 A.

References:

1. B. Rybakin, N. Smirnov, V. Goryachev, M. Kravchenko, L. Stamov, “ Computer simulation of reservoir opening using shaped charges ”, Proceedings in Cybernetics, № 3 (31), 1-10 (2018).

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЛАЙНЕРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ В ПИРОПАТРОНЕ

Б.П.Рыбакин¹, М.Н. Кравченко²

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва
kravchenko.m@gubkin.ru

Работа посвящена численному моделированию формирования газо-металло-жидкостной струи при иницировании заряда твердого ВВ внутри оболочного устройства. Цель исследования - оптимизация формы пиропатрона, используемого в нефтегазовой промышленности. Преимущество кумуляционных перфораторов над другими технологическими схемами заключается в возможности создания протяженных каналов в комплексных мишенях.

В работе предложена математическая модель, которая дает возможность рассчитать иницирование кумулятивного заряда с последующей деформацией и разрушением корпуса заряда, возникновением кумулятивной струи, проникающей через слой металла и обсадной колонны. На характеристики кумулятивной струи существенно влияет форма внутренней оболочки, называемой лайнером. Внешняя оболочка снаряда, как правило, стальная, внутренняя может изготавливаться, как из стали различной толщины, так и из алюминия, меди, вольфрама или других металлов. За счет изменения параметров лайнера можно добиться увеличения протяженности канала в мишени на 20-25%. В экспериментальных и теоретических работах установлено, что при углах менее 13° струя имеет недостаточную пробивную силу. Изменение угла при вершине конуса лайнера от 13° до 46° дает постепенное возрастание скорости струи со снижением эффективности при углах больше 46°.

Был создан собственный программный код на основе математической модели [1], позволяющий проводить численные эксперименты по расчету детонации твердых ВВ, деформировании оболочки пиропатрона при варьировании следующих параметров: материала внешней оболочки и лайнера, ВВ, и формы пиропатрона.

Математическое моделирование процесса иницирования заряда с последующим прониканием кумулятивной струи в комбинированную преграду позволяет оптимизировать характеристики заряда и конструкцию перфоратора с учетом геометрии расположения зарядов, а также улучшения гидродинамической связи между продуктивным пластом и скважиной. Моделирование макроразрушения пласта осуществляется путем расщепления лагранжевой расчетной сетки.

Установлено, что при заданной форме стального пиропатрона скорость струи существенно зависит от угла и имеет максимальное значение 4785 м/с при угле раскрытия конического лайнера в 38°.

Благодарности: Данная работа была выполнена при поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований №18-07-01303 А.

Литература

1. Б. Рыбакин, Н. Смирнов, В. Горячев, М. Кравченко, Л. Стамов, “Компьютерное моделирование процесса вскрытия пласта с использованием кумулятивных зарядов”, Вестник Кибернетики, № 3 (31), 1-10 (2018).

SCIENTOMETRICS AND EXPERT ESTIMATIONS OF SCIENTIFIC AND TRADE UNION ACTIVITIES

A.A. Samokhin

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
ul. Vavilova 38, Moscow, 119991 Russia
e-mail: asam40@mail.ru*

Some problems in estimations of scientific and trade union activities with different approaches are discussed. Despite the all differences in this approaches it is useful to consider their common features. One of these features is a human factor which plays significant role even in exact sciences not to mention about other branches of science or trade union activities. The human factor problem was discussed many times, in particular, in references [1-5] but it should be discussed more and more. It is evident, for example from recent text and remark academician Vasil'ev V.A. and RAS president Sergeev A.M. [6-7]. Analysis of human factor manifestations in science and different scientific communities is given in the present communication.

Acknowledgements: The author is thankful to T.A. Sushkevich for additional information on publications about Russian science life.

References (in Russian):

- [1] А.А. Самохин, “Лучше не опаздывать (О научном сообществе и не только)”, Научное Сообщество, №5 (201), 24-27 (2018).
- [2] А.А. Самохин, “Кто будет делать?”, Научное Сообщество, №6-7 (202-203), 18-19 (2018).
- [3] А.А. Самохин, “Чем отвечать на современные вызовы?”, Научное Сообщество, №9-10 (205-206), 31 (2018).
- [4] А.А. Самохин, “Человеческий фактор и научное сообщество”, Научное Сообщество, №12 (208), 24-26 (2018).
- [5] А.А. Самохин, “О человеческом факторе и возможной роли научного сообщества в обеспечении модернизации России”, с. 723-726, Ежегодник. Россия: Тенденции и перспективы развития. Вып. 14 / РАН. ИНИОН. Отд. на-уч. сотрудничества; Отв. ред. В.И. Герасимов. – М., 2019. – Ч. 1. – 937 с.
- [6] В.А. Васильев, “Тезисы по взаимодействию с ВАК”, сайт РАН от 09.07.2019: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=6c4015ab-b6a6-4f06-8b17-99c8f3666c7d>
- [7] А.М. Сергеев, в статье Н. Волчковой “Покой и не снится. РАН втянулась в активный режим”, 28.06.2019, <https://www.poisknews.ru/skript/pokoj-i-ne-snitsya-ran-vtyanulas-v-aktivnyj-rezhim/>

Publications of newspaper “Научное Сообщество” can be found at trade union section of RAS site: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=c2ac45af-e861-4bc1-bd68-2aef0da91fa6>

НАУКОМЕТРИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ НАУЧНОЙ И ПРОФСОЮЗНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.А. Самохин

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва, ул. Вавилова, 38, 119991 Россия
e-mail: asam40@mail.ru*

Обсуждаются некоторые проблемы, возникающие при использовании различных подходов для оценки научной и профсоюзной деятельности. Несмотря на все различия этих подходов целесообразно рассмотреть общие их проявления. Одним из таких аспектов является человеческий фактор, роль которого оказывается весьма велика даже в точных науках, не говоря уже о других разделах науки или профсоюзной деятельности. Эта проблема уже неоднократно затрагивалась, в частности, в публикациях [1-5], но к ней необходимо возвращаться снова и снова. Это видно, например, по недавним выступлениям академика Васильева В.А. и президента РАН Сергеева А.М. [6-7]. Анализ проявлений человеческого фактора в науке и различных организациях ученых составляет основное содержание данного сообщения.

Благодарности: Автор благодарит Т.А. Сушкевич за дополнительную информацию по публикациям о жизни Российской науки.

Литература:

- [1] А.А. Самохин, “Лучше не опаздывать (О научном сообществе и не только)”, Научное Сообщество, №5 (201), 24-27 (2018).
- [2] А.А. Самохин, “Кто будет делать?”, Научное Сообщество, №6-7 (202-203), 18-19 (2018).
- [3] А.А. Самохин, “Чем отвечать на современные вызовы?”, Научное Сообщество, №9-10 (205-206), 31 (2018).
- [4] А.А. Самохин, “Человеческий фактор и научное сообщество”, Научное Сообщество, №12 (208), 24-26 (2018).
- [5] А.А. Самохин, “О человеческом факторе и возможной роли научного сообщества в обеспечении модернизации России”, с. 723-726, Ежегодник. Россия: Тенденции и перспективы развития. Вып. 14 / РАН. ИНИОН. Отд. на-уч. сотрудничества; Отв. ред. В.И. Герасимов. – М., 2019. – Ч. 1. – 937 с.
- [6] В.А. Васильев, “Тезисы по взаимодействию с ВАК”, сайт РАН от 09.07.2019: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=6c4015ab-b6a6-4f06-8b17-99c8f3666c7d>
- [7] А.М. Сергеев, в статье Н. Волчковой “Покой и не снится. РАН втянулась в активный режим”, 28.06.2019, <https://www.poisknews.ru/skript/pokoj-i-ne-snitsya-ran-vtyanulas-v-aktivnyj-rezhim/>

Публикации газеты “Научное Сообщество” можно найти на профсоюзной странице сайта РАН: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=c2ac45af-e861-4bc1-bd68-2aef0da91fa6>

HYPERBOLIC VARIATIONS CHORD IN THE POINTS FATOU OF THE BOUNDED HOLOMORPHIC FUNCTIONS

Ž. Pavićević

*Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;
National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

zarkop@ucg.ac.me

We will denote by D and Γ the disk $\{z \mid |z| < 1\}$ and circle $\{z \mid |z| = 1\}$, respectively. The chord of the disk D , ending in point $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ and forming with a radius at this point angle α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$ will be denoted by $h(\xi, \alpha)$. Let M be an arbitrary Borel measurable set on Γ , $mesM$ Lebesgue measure of the set M and $\sigma_M = \bigcup_{\xi \in M} \{z \mid |z - \rho\xi| < 1 - \rho\}$, $1/2 < \rho < 1$. We will consider sets M for which $mesM > 0$.

Lemma. If $f : D \rightarrow D$ is holomorphic function and $l_f(\theta, \alpha) = \int_{h(\xi, \alpha)} |f'(z)| (1 - |f(z)|^2)^{-1} |dz| < +\infty$,

then $\lim_{h(\xi, \alpha) \ni x \rightarrow \xi} f(z) = \omega$, $\omega \in D$.

Theorem. If $f : D \rightarrow D$ is holomorphic function and $\int_{\sigma_M} |f'(z)| (1 - |f(z)|^2)^{-1} dx dy < +\infty$,

$z = x + iy$, then: *i)* for each α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$, $l_f(\theta, \alpha)$ is a summable function of the argument θ , $\xi = e^{i\theta} \in M$; *ii)* exists set E , $E \subset M$, $mesE = mesM$, that for each fixed θ , $\xi = e^{i\theta} \in E$, $l_f(\theta, \alpha)$ is a summable function of the argument α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$; *iii)* the function f on the set E has angular limit values; *iv)* $l_f(\theta, \alpha) < +\infty$ for all values θ , $\xi = e^{i\theta} \in E$, and all α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$.

In [4, 5], interesting bounded holomorphic functions f , $|f(z)| < c$, $z \in D$, such that $\int_D |f'(z)| dx dy = \infty$ were constructed. Then for $f_1(z) = f(z)/c$, $z \in D$, the following holds:

$$\int_D |f_1'(z)| (1 - |f_1(z)|^2)^{-1} dx dy = +\infty.$$

Corollary. Let the holomorphic function f satisfy the conditions of the Theorem, and E_1 , $E_1 \subset M$, be the set of all points $\xi = e^{i\theta}$ for which there are angular boundary values $f(e^{i\theta})$ and $|f(e^{i\theta})| = 1$. Then $mesE_1 = 0$.

Literature

1. V. I. Gavrilov, Ob odnoy teoreme Tsudzi, Sibirskiy matematicheskiy zhurnal, XIV (5), 951-956 (1973).
2. S. Yamashita, Hyperbolic Hardy class H^1 . Mathematica Scandinavica, 45, 261-266 (1979).
3. A. N. Kanatnikov, Ob odnoy teoreme Kollingvuda, Vestnik moskovskogo univerziteta, mat, mekh, 4, 3-9 (1976).
4. S. N. Mergelyan, Ob odnom integrale, svyazannom s analiticheskimi funktsiyami, Izv. AN SSSR. Ser. matem., 15 (5), 395-400 (1951).
5. G. Piranian, Bounded functions with large circular variation, Proceedings of the American Mathematical Society 19(6), 1255-1257 (1968).

ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ХОРД В ТОЧКАХ ФАТУ ОГРАНИЧЕННЫХ ГОЛОМОРФНЫХ ФУНКЦИЙ

Ž. Pavićević

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

zarkop@ucg.ac.me

Через D , Γ и $h(\xi, \alpha)$ обозначим соответственно круг $\{z \mid |z| < 1\}$, окружность $\{z \mid |z| = 1\}$, и хорду круга D , окончающуюся в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и образующую с радиусом в этой точке угол α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$, M произвольное измеримо по Борелю множество на Γ , $mesM$ Лебегова мера множества M и $\sigma_M = \bigcup_{\xi \in M} \{z \mid |z - \rho\xi| < 1 - \rho\}$, $\frac{1}{2} < \rho < 1$. Будем рассматривать множества M для которых $mesM > 0$.

Лемма. Если $f : D \rightarrow D$ голоморфна функция и

$$l_f(\theta, \alpha) = \int_{h(\xi, \alpha)} |f'(z)| (1 - |f(z)|^2)^{-1} |dz| < +\infty, \text{ тогда } \lim_{h(\xi, \alpha) \ni x \rightarrow \xi} f(z) = \omega, \omega \in D.$$

Теорема. Если $f : D \rightarrow D$ голоморфна функция и $\int_{\sigma_M} |f'(z)| (1 - |f(z)|^2)^{-1} dx dy < +\infty$, $z = x + iy$,

тогда: *i)* для каждого α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$, $l_f(\theta, \alpha)$ являются суммируемой функцией аргумента θ , $\xi = e^{i\theta} \in M$; *ii)* существует множество E , $E \subset M$, $mesE = mesM$ что для каждого фиксированного θ , $\xi = e^{i\theta} \in E$, $l_f(\theta, \alpha)$ являются суммируемой функцией аргумента α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$; *iii)* функция f на множестве E имеет угловые предельные значения; *iv)* функция $l_f(\theta, \alpha) < +\infty$ для всех значений θ , $\xi = e^{i\theta} \in E$, и всех α , $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$.

В [4,5] построены интересные ограниченные голоморфные функции f , $|f(z)| < c$, $z \in D$, у которых $\int_D |f'(z)| dx dy = +\infty$. Тогда для $f_1(z) = f(z)/c$, $z \in D$, $\int_D |f_1'(z)| (1 - |f_1(z)|^2)^{-1} dx dy = +\infty$.

Следствие. Если для голоморфной функции f из теоремы множество E_1 , $E_1 \subset M$, множество точек $\xi = e^{i\theta}$ для которых существуют угловые граничные значения $f(e^{i\theta})$ и $|f(e^{i\theta})| = 1$, тогда $mesE_1 = 0$.

Литература

1. В. И. Гаврилов, Об одной теореме Цудзи, Сибирский математический журнал, XIV (5), 951-956 (1973).
2. S. Yamashita, Hyperbolic Hardy class H^1 . *Mathematica Scandinavica*, 45, 261-266 (1979).
3. А. Н. Канатников, Об одной теореме Коллингвуда, Вестник московского университета, мат, мех, 4, 3-9 (1976).
4. С. Н. Мергелян, Об одном интеграле, связанном с аналитическими функциями, Изв. АН СССР. Сер. матем., 15 (5), 395-400 (1951).
5. G. Piranian, Bounded functions with large circular variation, *Proceedings of the American Mathematical Society* 19(6), 1255-1257 (1968).

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗРЫВНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА: ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ И ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Криксин Ю.А.¹, Тишкин В.Ф.¹

¹ИИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл., 4, Москва 125047, Россия
e-mail: krikstin@imatod.ru

Рассмотрены энтропийно устойчивые методы решения газодинамических задач на основе разрывного метода Галеркина (РМГ). Вместе с традиционно используемыми законами сохранения массы, импульса и полной энергии предлагаемые методы учитывают второе начало термодинамики, количественным выражением которого служит энтропийное условие.

В предлагаемой конечно-элементной модели газодинамического течения используются дискретные аналоги законов сохранения и энтропийного неравенства, которые выполняются в каждом конечном элементе.¹⁻³

Само по себе выполнение дискретных аналогов законов сохранения и энтропийного неравенства, вообще говоря, не обеспечивает устойчивости численного решения. Ключевую роль играет выбор множества допустимых конечно-элементных аппроксимаций, связанных с РМГ, при помощи которых строится это численное решение. Установлено, что монотонность конечно-элементных аппроксимаций тесно связана с подавлением паразитных осцилляций численных решений и выполнением энтропийного условия.

Формальное выполнение энтропийного условия, вообще говоря, недостаточно для получения физически реализуемых численных решений. Например, единственным источником производства энтропии в случае уравнений Эйлера являются ударные волны. Тем не менее, многие известные численные методы, такие как схема Годунова, различные версии РМГ и другие алгоритмы производят в ряде случаев избыточную энтропию из-за чего численные решения становятся нефизическими (задача Эйнфельдта). Предложенный подход более точно учитывает энтропийное условие для уравнений Эйлера по сравнению с другими известными методами.

Благодарности: Авторы благодарят Российский научный фонд за финансовую поддержку (проект № 17-71-30014) и центр информационных технологий университета Гронингена (Нидерланды) за предоставленную возможность проведения расчетов.

Ссылки:

1. Ю.А. Криксин, В.Ф. Тишкин, “Гибридный подход к решению одномерных уравнений газовой динамики” Матем. моделирование, Т. 30, №8, 17-31 (2018)
2. Ю.А. Криксин, В.Ф. Тишкин, “Энтропийная регуляризация разрывного метода Галеркина в одномерных задачах газовой динамики”, Препринт ИИПМ им. М.В.Келдыша РАН, № 100, Москва (2018), 22 с., doi:10.20948/prepr-2018-100, URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-100>
3. М.Д. Брагин, Ю.А. Криксин, В.Ф. Тишкин, “Обеспечение энтропийной устойчивости разрывного метода Галеркина в газодинамических задачах”, Препринт ИИПМ им. М.В.Келдыша РАН, № 51, Москва (2019), 22 с., doi:10.20948/prepr-2019-51, URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-51>

FINITE ELEMENT MODEL OF A GASDYNAMIC FLOW ON THE DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD BASIS: CONSERVATION LAWS AND THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

Kriksin Y.A.¹, Tishkin V.F.¹

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Miusskaya sq. 4, Moscow 125047, Russia
e-mail: kriksin@imamod.ru*

The entropy stable methods for solving gasdynamic problems based on the discontinuous Galerkin method (DGM) are considered. The proposed methods take into account the second law of thermodynamics, the quantitative expression of which is the entropic condition, together with the traditionally used laws of conservation of mass, momentum and total energy.

Discrete analogues of conservation laws and entropic inequality are used in the proposed finite element model of a gasdynamic flow, which are satisfied in each finite element.¹⁻³

In itself, the implementation of discrete analogues of conservation laws and the entropy inequality, generally speaking, does not ensure the stability of a numerical solution. A key role is played by the choice of the set of admissible finite-element approximations associated with the DGM, with the help of which this numerical solution is constructed. It is established that the monotonicity of finite element approximations is closely related to the suppression of parasitic oscillations of numerical solutions and the fulfillment of the entropy inequality.

The formal fulfillment of the entropy condition, generally speaking, is not enough to obtain physically feasible numerical solutions. For example, the only source of entropy production in the case of the Euler equations is shock wave. Nevertheless, many well-known numerical methods, such as the Godunov scheme, different versions of the DGM and other algorithms, in some cases, produce excessive entropy because of which the numerical solutions become nonphysical (Einfeldt's problem). The proposed approach more accurately takes into account the entropy condition for the Euler equations as compared to other known methods.

Acknowledgements: The authors thank the Russian Science Foundation for financial support (project No. 17-71-30014) and the Center for Information Technology of the University of Groningen (Netherlands) for the assistance in performing calculations.

References:

1. Y.A. Kriksin, V.F. Tishkin, "Hybrid Approach to Solve Single-Dimensional Gas Dynamics Equations" *Mathematical Models and Computer Simulations*, Vol. 11(2), 256-265 (2019)
2. Y.A. Kriksin, V.F. Tishkin, "Entropic regularization of Discontinuous Galerkin method in one-dimensional problems of gas dynamics", Preprint of Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), No.100, Moscow (2018), 22 p. (rus), doi:10.20948/prepr-2018-100, URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-100>
3. M.D. Bragin, Y.A. Kriksin, V.F. Tishkin, "Ensuring the entropy stability of the discontinuous Galerkin method in gasdynamics problems", Preprint of Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), No.51 Moscow (2019), 22 p. (rus), doi:10.20948/prepr-2019-51, URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-51>

АДАПТАЦИЯ СЕТОК И ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА ЗАГРУЗКИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

О. Г. Ольховская, Д. С. Бойков, С. К. Григорьев, А. С. Болдарев, М. В. Якобовский,
В. А. Гасилов

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия
boldar@itamod.ru

Большинство стратегий эффективных вычислений предполагают сеточную адаптацию. Прямоугольные сетки часто рассматриваются и применяются как основа для эффективных алгоритмов динамической сеточной адаптации. Измельчение производится путем последовательного разбиения кубической ячейки на октанты, образуя таким образом сетку со структурой восьмеричного дерева. Такая технология активно используется; например, она является основной в пакете OpenFOAM и единственной в FlowVision. Библиотека программ на C++ с использованием MPI для параллельной обработки восьмеричных сеток PABLO успешно используется в гидродинамическом проекте MEMPHIS. В настоящей работе мы уменьшили вычислительные затраты и улучшили точность посредством внедрения технологии динамической сеточной адаптации в объектно-ориентированный код MARPLE 3D (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН).

Преимуществом восьмеричных сеток является их прямоугольная основа, допускающая трехиндексную адресацию элементов. Желательно сохранить такое описание также и для сложной геометрии. Мы вводим также четвертый индекс s – уровень дробления ячейки, $s = 0$ для первоначальной (нераздробленной) ячейки.

Наши алгоритмы обработки сеточных данных основаны на теории пространствозаполняющих кривых. Модифицированный код Мортон используется для структур элементов, помечаемых набором из четырех индексов. Модифицированная кривая Пеано применяется для трехмерных областей произвольной формы. Мы предпочитаем явно отделить топологию сетки от геометрии расчетной области, чтобы использовать в каждом случае оптимальную кривую.

Применение параллельных вычислений в парадигме MPI предполагает разбиение адаптивной сетки, т. е. поддержку древесной структуры в распределенной системе. Кроме того, проблемой является балансировка нагрузки, так как каждая операция измельчения ячейки увеличивает количество ячеек на 7, что в наихудшем случае может увеличить нагрузку отдельного MPI-процесса в 8 раз. Также следует учесть необходимость поддержки вертикальных связей в древесной структуре. Возможное решение заключается в передаче дерева ячеек целиком при перебалансировке. Начальная статическая балансировка нагрузки проводится с использованием кривой Гильберта – Пеано, адаптированной к произвольной расчетной области. После адаптации сетки применяется диффузионная балансировка вдоль пространствозаполняющей кривой.

Что касается «фиктивных» ячеек для межпроцессорных обменов, так как единицей информации является первичная ячейка, она должна включаться целиком, со всеми своими дочерними ячейками. Ширина слоя «фиктивных» ячеек определяется шаблоном используемой конечноразностной схемы.

ADAPTIVE MESH REFINEMENT AND DYNAMIC LOAD BALANCE FOR HPC MULTIPHYSICS SIMULATIONS

O. Olkhovskaya, D. Boykov, S. Grigoriev, A. Boldarev, M. Yakobovskiy, V. Gasilov

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow, Russia
boldar@imamod.ru

We reduced computational costs and improved accuracy by incorporating a new adaptive mesh refinement technique in an object-oriented code for HPC multiphysics simulations. Data structures based on combination of space-filling curves were developed for 3D octree meshes. New diffusion dynamic load balance algorithms were implemented. The appropriate C++ software is designed for MPI parallelism using distributed memory and domain decomposition.

Most strategies of efficient computations involve adaptive mesh refinement (ARM). In practice rectangular meshes are usually considered and applied as a basis for resource efficient dynamic mesh refinement algorithms. Refinement is performed by recursive subdivision of a cube (or cartesian cuboid) cell into octants thus producing an octree mesh. This technique is actively used; for example, it is the main one in the OpenFOAM package and the only one in the FlowVision package. C++/MPI library for parallel linear octree/quadtree PABLO is successfully employed in CFD project MEMPHIS. We have more than ten-year experience in HPC multiphysics simulations and now reduce computational costs and improve accuracy by incorporating AMR technique in object-oriented code MARPLE 3D (KIAM RAS).

An advantage of the octree mesh is its rectangular nature allowing three-index description. It is preferable to retain this description for complex geometry as well. We also introduce the fourth index s , which is the level of the cell subdivision, $s = 0$ for an initial (undivided) cell.

Our mesh data processing algorithms are based on space-filling curves theory. Modified Morton code is implemented for structures of elements labeled with a set of four indices, and modified Peano curve is implemented for arbitrary shaped 3D domains. We prefer to separate explicitly the topology of the mesh and the geometry of the computational domain in order to apply the optimum curve in each case.

The implementation of parallel computing in the MPI paradigm involves the decomposition of adaptive mesh, i. e. maintaining tree structure in a distributed system. In addition, load balancing is a problem, because one refinement operation increases the number of cells by 7, which in the worst case can increase 8 times the load of an individual MPI process. One must also take into account the need to maintain vertical relationship in the tree structure. The solution is to transfer a complete tree of cells when rebalancing, including those that belong to the same subdivision tree, but are not used in any way in the calculations for the MPI process under consideration. Static initial load balancing is carried out using the Hilbert-Peano curve adapted to an arbitrary domain. Diffusion balancing is applied along the space-filling curve after mesh refinement.

As for halo cells for interprocessor exchanges, since the primary cell is considered to be a unit of information, it should be included as a whole, with all its child cells. The width of the halo is determined by the finite-difference scheme stencil.

THE MODELING OF RADIATION-INDUCED THERMOMECHANICAL EFFECTS IN THE FINELY DISPERSED MEDIUM

Fedor N. Voronin, Varvara A. Egorova, Eugeny B. Savenkov, Mikhail E. Zhukovskiy
Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia
raveaprouch@mail.ru

Modern high-tech construction materials are designed to withstand loads of various nature under conditions of the complex physical effects, for instance, radiation and heat fluxes, mechanical tension etc. The protective coating of satellite being under space radiation is an example of the material in question. There is a problem of creation of the materials resistant to external influence of various nature. One of the promising ways to solve this problem is the use of composite materials of the finely dispersed structure.

A complex model for supercomputing the parameters of radiation-induced thermomechanical fields in heterogeneous media of complex dispersed structure is developed. A technique for calculating the parameters of the photon-electron cascade generated in the object by the interaction of radiation with matter is worked out. A geometric model of the medium with a direct resolution of its microstructure is worked out. A part of the geometric description of the medium is a model of the detecting system for the statistical evaluation of the energy deposit density of radiation. The detection system is adaptive to the complex structure of the medium and is constructed as a set of non-intersecting spherical detectors. Energy deposit of radiation is a source of thermodynamic processes. The approximation technique based on the neural networks is developed for transferring the results of statistical modeling of the energy deposit from used detector system to the thermodynamic spatial grid [1].

The ideal hydrodynamic Euler model of the compressible medium dynamics in a conservative form is chosen as the basis for the modeling of thermomechanical processes [2]. The results of demonstration calculations of thermomechanical fields parameters are presented.

The applications of the developed simulation tool are presented in terms of results obtained using the hybrid computing cluster K-100 (<http://www.kiam.ru/MVS/resourses/k100.html>).

Acknowledgments: This work is partially supported by Russian Fund for Basic Researches, grants N 17-01-00301 and N 18-01-00582.

References:

1. V. Egorova, M. Zhukovskiy. "Handling of the radiative electron emission modeling results by use of the neural networks", *Mathematica Montisnigri*, **38**, 89-99 (2017).
2. 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, 2012. Vol. 22, pp. 235-242

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ

Федор Н. Воронин, Варвара А. Егорова, Евгений Б. Савенков, Михаил Е. Жуковский
Институт прикладной математики РАН; Москва, Россия
raveaprouch@mail.ru

Современные высокотехнологичные конструкционные материалы проектируются с учетом устойчивости к физическим факторам различной природы, таким как, например, нагрев, радиация, механические напряжения и т.д. Примером такого материала является защитное покрытие спутника, подвергающееся воздействию космического излучения. Одним из перспективных способов повышения его функциональных характеристик является использование композиционных материалов тонкодисперсной структуры.

Разработана комплексная модель для суперкомпьютерного исследования параметров радиационно-индуцированных термомеханических полей в гетерогенных средах со сложной дисперсной структурой. Построен способ расчета параметров фотон-электронного каскада, генерируемого в объекте при взаимодействии излучения с веществом. Создана геометрическая модель среды с прямым разрешением ее микроструктуры. Составной частью геометрического описания среды является модель детектирующей системы для статистической оценки энерговыделения излучения. Детектирующая система адаптирована к неоднородной структуре среды и представляет собой множество непересекающихся друг с другом сфер. На основе нейронных сетей разработана методика аппроксимации энерговыделения, полученного детектирующей системой, на термомеханическую разностную сетку [1].

Основой для расчета термомеханических процессов выбрана идеальная гидродинамическая модель Эйлера динамики сжимаемой среды в консервативной форме [2]. Приведены результаты демонстрационных расчетов параметров термомеханических полей.

Представленные результаты моделирования получены на гибридном вычислительном кластере К-100 (<http://www.kiam.ru/MVS/resources/k100.html>).

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-01-00301 и № 18-01-00582.

Литература:

1. V. Egorova, M. Zhukovskiy. "Handling of the radiative electron emission modeling results by use of the neural networks", *Mathematica Montisnigri*, **38**, 89-99 (2017).
2. 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, 2012. Vol. 22, pp. 235-242

ОБ АЛГОРИТМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ПРОТОНОВ С УЧЕТОМ ЯДЕРНОГО РАССЕЯНИЯ

Подольяко С.В., Казымов Ш.А., Марков М.Б., Паротькин С.В., Тараканов И.А.
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия
psv66@mail.ru

Перенос протонов в веществе сопровождается рассеянием. Оно обусловлено взаимодействием протонов с электронной подсистемой и с ядрами атомов рассеивающей среды.

В результате взаимодействия с электронной подсистемой атомов среды протоны теряют энергию непрерывно, практически не меняя направления движения. Ядерные взаимодействия имеют относительно небольшие сечения, но могут сопровождаться не только большими изменениями импульса протона, но и ядерными реакциями [1].

Разработаны алгоритмы переноса протонов, которые реализованы для кусочно-однородных сред в приближении непрерывного замедления при рассмотрении процесса переноса без учета ядерного рассеяния [2].

Для учета ядерного рассеяния построен статистический алгоритм на основе модели индивидуальных соударений [3].

С применением алгоритма проведены сравнительные расчеты модифицированных кривых Брэгга без учета ядерного рассеяния и с учётом этого процесса (рис. 1).

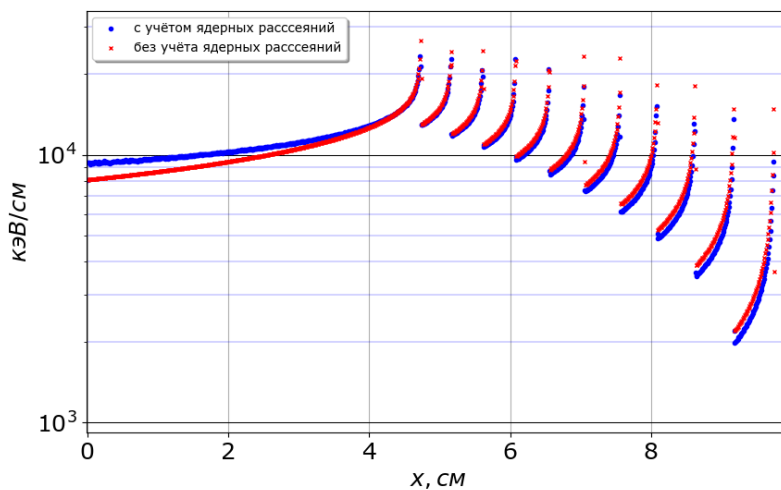


Рис. 1. Модифицированные кривые Брэгга для переноса протонов с линейчатым спектром в диапазоне 80÷120 МэВ в смоле

Благодарности: Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-01-00301)

Литература:

1. Егорова В.А., Жуковский М.Е., Подольяко С.В., Тараканов И.А. Математическая модель взаимодействия протонов с веществом. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2017. № 138. 24 с.
2. Марков М.Б., Подольяко С.В. Моделирование переноса протонов в приближении непрерывного замедления // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018, №259, 20 с.
3. Жуковский М.Е., Подольяко С.В., Усков Р.В. Модель индивидуальных соударений для описания переноса электронов в веществе. // Математическое моделирование. 2011, Том 23, № 6, С. 147-160.

ON AN ALGORITHM OF THE SIMULATING THE PROTON TRANSPORT CONSIDERING THE NUCLEAR SCATTERING

Sergey V. Podolyako, Shamil A. Kazymov, Mikhail B. Markov,
Sergey V. Parotkin, Iliya A. Tarakanov
Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia
psv66@mail.ru

Proton transport in matter is accompanied by scattering. It is due to the interaction of protons with the electron subsystem and with the nuclei of atoms of the scattering medium.

As a result of interaction with the electron subsystem of the atoms of the medium, protons lose energy continuously, practically without changing the direction of motion. Nuclear interactions have relatively small cross sections but can be accompanied not only by large changes in the proton momentum, but also by nuclear reactions [1].

Developed proton transport algorithms are implemented for piecewise homogeneous media in the continuous slow down approximation when considering the transport process without nuclear scattering [2].

A statistical algorithm based on the model of individual collisions [3] considering the nuclear scattering is constructed.

The comparative calculations of the modified Bragg curves aside the nuclear scattering and regarding this process are carried out using the developed algorithm (fig. 1).

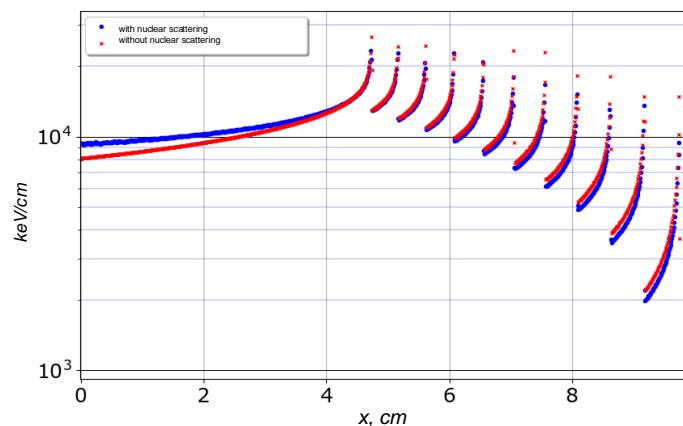


Fig. 1. Modified Bragg curves for proton transport

Acknowledgments: This work is partially supported by Russian Fund for Basic Researches, grant N 17-01-00301.

References:

1. Egorova V.A, Zhukovskiy, M.E., Podolyako S.V, Tarakanov I.A. Mathematical model of the interaction between protons and matter // KIAM preprints, 2017, № 138, 24 p.
2. Markov M.B., Podolyako S.V. The modelling of protons transport in the approximation of continuous slowing down // KIAM preprints, 2018, 259, 20 p.
3. M. E. Zhukovskiy, S. V. Podolyako, and R. V. Uskov, "Model of individual collisions for description of electron transport in matter," *Math. Models Comput. Simul.* 4, 101–109 (2012).

LOWER-BOUND ESTIMATE FOR MINIMUM OF HOLOMORPHIC FUNCTION MODULES

A.Yu. Popov

E-mail: elena.alferova@gmail.com

For each holomorphic function f in the disk $|z| < r_1$, we consider a real-variable function

$$m(f; r) = \min_{|z|=r} |f(z)|, \quad 0 \leq r < r_1.$$

Theorem. Let $R > 0$ and function

$$f(z) = \sum_{k=\nu}^{\infty} a_k z^k, \quad a_\nu \neq 0,$$

(ν is the index of the first non-zero term of the series)

is holomorphic in the disk $|z| < 3R$ and H^1 -norm

$$\|f\| = \sup_{0 < x < 3R} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(xe^{i\varphi})| d\varphi < +\infty.$$

The following inequality is true:

$$\max_{\frac{R}{3} \leq r \leq R} m(f; r) > \frac{|a_\nu|^2 R^{2\nu}}{6\|f\|}.$$

Also, a more general results of lower-bound estimate for value $\max_{qR \leq r \leq R} m(f; r)$ by means of $\|f\|^{-d}$, $d > 0$, $q \in (0, 1)$ is deduced. The integral norm of function f is calculated on the circle of radius AR , where $A > 1$ is a certain function of parameters q and d .

ОЦЕНКА СНИЗУ МИНИМУМА МОДУЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

А.Ю. Попов

E-mail: elena.alferova@gmail.com

Каждой функции, аналитической в круге $|z| < r_1$, поставим в соответствие функцию действительной переменной r :

$$m(f; r) = \min_{|z|=r} |f(z)|, \quad 0 \leq r < r_1.$$

Доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть $R > 0$, функция

$$f(z) = \sum_{k=\nu}^{\infty} a_k z^k, \quad a_\nu \neq 0,$$

(ν - номер первого ненулевого коэффициента степенного ряда)

аналитична в круге $|z| < 3R$ и обладает конечной H^1 -нормой

$$\|f\| = \sup_{0 < x < 3R} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(xe^{i\varphi})| d\varphi < +\infty$$

Тогда выполняется неравенство

$$\max_{\frac{R}{3} \leq r \leq R} m(f; r) > \frac{|a_\nu|^2 R^{2\nu}}{6\|f\|}$$

Получены также более общие результаты об оценке снизу величины $\max_{qR \leq r \leq R} m(f; r)$ через $\|f\|^{-d}$, $d > 0$, $q \in (0, 1)$. Интегральная норма функции f берется на окружности радиуса AR , где A является некоторой функцией параметров q и d .

FINDING OPTIMAL ITERATION PARAMETERS FOR SOLVING PROBLEM OF ELASTIC BODIES CONTACT INTERACTION BY MEANS OF DOMAIN DECOMPOSITION METHOD

P.S. Aronov^{1,2}, M.P. Galanin^{1,2}, A.S. Rodin^{1,2}

¹*Keldysh institute of applied mathematics RAS , Moscow, Russia*

²*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

e-mail: rals@bk.ru

Accounting of contact interaction of the adjoining details allows to receive more exact assessment of the strain-stress distribution (SSD) of the considered construction. In the majority of situations it is not possible to solve a contact problem analytically therefore apply numerical simulation. For problem discretization usually use the finite-element method. The most widespread methods allowing to consider necessary boundary conditions on contact surface are penalty function method, Lagrange multiplier method or their combination [1], but there are also alternative methods, in particular, domain decomposition method (DDM). The main advantage of DDM are data of a solution of the general problem of contact interaction of several bodies to the sequence of solutions of standard problems of mechanics for each body separately within iterative process. In work several versions of DDM are considered. These versions differ from each other in order of setting kinematic (Dirichlet condition) and stress (Neumann condition) conditions on a contact surface on different iterations. In particular, it is algorithms Neumann- Dirichlet, Neumann-Neumann and Dirichlet - Dirichlet [2].

A number of two-dimensional problems with the contact surface having the irregular geometrical shape are considered. The research of dependence of iterative process convergence on the choice of iterative parameter is conducted. Two algorithms allowing to calculate best values of parameter are offered. Comparison of the results received by means of different versions of DDM and Lagrange multiplier method is executed. Influence of the choice of conditions on the contact surface, cases of use of conforming and nonconforming meshes are considered.

Acknowledgements: Work is performed with partial financial support of the Russian Federal Property Fund (project № 18-01-00252, № 18-31-20020).

References:

1. P. Wriggers, “Computational Contact Mechanics”, Springer, Berlin (2006)
2. A. Toselli, O. Widlund, “Domain Decomposition methods – Algorithms and Theory”, Springer, Berlin (2005)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ТЕЛ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ОБЛАСТИ

П.С. Аронов^{1,2}, М.П. Галанин^{1,2}, А.С. Родин^{1,2}

¹ *Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия*

² *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*
e-mail: rals@bk.ru

Учет контактного взаимодействия соприкасающихся деталей позволяет получить более точную оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) рассматриваемой конструкции. В большинстве ситуаций решить контактную задачу аналитически не представляется возможным, поэтому применяют численное моделирование. Для дискретизации задачи обычно используют метод конечных элементов. Самыми распространенными методами, позволяющими учесть необходимые граничные условия на поверхности контакта тел, являются метод штрафных функций, метод множителей Лагранжа или их комбинации [1], но существуют и альтернативные методы, в частности, метод декомпозиции области (МДО). Главным преимуществом МДО является сведение решения общей задачи контактного взаимодействия нескольких тел к последовательности решений стандартных задач механики для каждого тела по отдельности в рамках итерационного процесса. В работе рассмотрены несколько вариантов МДО, которые отличаются друг от друга порядком постановки кинематических (условие Дирихле) и силовых (условие Неймана) условий на контактной поверхности на различных итерациях. В частности, это алгоритмы Нейман-Дирихле, Нейман-Нейман и Дирихле-Дирихле [2].

На примере решения ряда двумерных задач с контактной поверхностью, имеющей сложную геометрическую форму, проведено исследование зависимости сходимости итерационного процесса от выбора итерационного параметра. Предложены два алгоритма, позволяющие вычислять оптимальные значения параметра. Выполнено сравнение результатов, полученных с помощью различных вариантов МДО и метода множителей Лагранжа. Рассмотрено влияние выбора условий на поверхности контакта, случаи использования согласованных и несогласованных сеток.

Благодарности: Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-01-00252, № 18-31-20020).

Литература:

1. P. Wriggers, “Computational Contact Mechanics”, Springer, Berlin (2006)
2. A. Toselli, O. Widlund, “Domain Decomposition methods – Algorithms and Theory”, Springer, Berlin (2005)

THE MODELING OF RADIATION-INDUCED CHARGE EFFECTS IN THE FINELY DISPERSED MEDIUM

Varvara A. Egorova, Mikhail V. Alekseev, Ilya A. Tarakanov, Roman V. Uskov
Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS; Moscow, Russia
eva24372@gmail.com

Supercomputer simulation of radiation-induced effects (charges, thermodynamics, currents) in heterogeneous materials of finely dispersed structure implies the development of geometric models of matter with an open resolution of its microstructure. Stopping paths of the Compton and photoelectron in heterogeneous finely dispersed medium of complex geometric structure are comparable with the size of the inhomogeneities of the medium by the order of magnitude. A detailed modeling of each collision of radiation particles with atoms of a finely dispersed matter is required in this case [1].

For example, in a dielectric binder material with metal inclusions, the charge distribution has a complex "non-smooth" type. Much more electrons are born in the inclusions than in the binder material, because usually the macroscopic cross-section of the photoionization and Compton scattering in a metal is much larger than in a dielectric. The number of electrons passing from the inclusion to the binder material is greater than the number of electrons moving in the opposite direction (Fig. 1). That's why the metal inclusion will be charged positively, and the binder material - negatively near the inclusion-binder boundary.

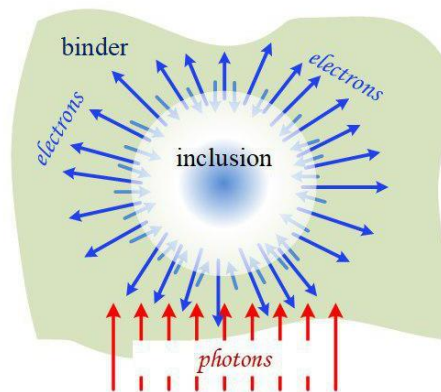


Fig. 1 – Electron fluxes near the inclusion-binder boundary

As a result, the charge separation occurs near the boundaries. This may lead to electrical breakdown and probably to the destruction of the material.

Developed high-precision algorithms of supercomputer modeling of radiation-induced charge effects in heterogeneous dispersed materials taking into account their microstructure.

Examples of supercomputer modeling of charge distribution in finely dispersed materials using the constructed algorithms are given. Calculations are carried out using the hybrid computing cluster HCC K-100 (<http://kiam.ru/MVS/resourses/k100.html>).

Acknowledgments: This work is partially supported by Russian Fund for Basic Researches, grants N 17-01-00301 and N 18-01-00582.

References:

1. M. E. Zhukovskiy, S. V. Podolyako, and R. V. Uskov, "Model of individual collisions for description of electron transport in matter", *Math. Models Comput. Simul.* 4, 101–109 (2012).

RELATION BETWEEN MCCOY AND ARMENDARIZ RINGS

Dušan Joka¹

¹University of East Sarajevo, Production and Management Faculty Trebinje
dusan.jokanovic@fpm.ues.rs.ba

In this article R denotes a ring with identity, σ denotes an endomorphism of R and $R[x, \sigma]$ denotes skew polynomial ring. Recall that R is a right(left) McCoy ring ([4], [5],[6]) if the equation $f(x)g(x) = 0$ holds, where $f(x), g(x) \in R[x] \setminus \{0\}$ implies that there exists a nonzero $c \in R$ such that $f(x)c = 0$ ($cf(x) = 0$).

We say that R is a weak right (left) McCoy ring if whenever $f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i$ and $g(x) = \sum_{j=0}^m b_j x^j \in R[x] \setminus \{0\}$ the equation $f(x)g(x) = 0$ holds, implies that there exists a nonzero $s \in R \setminus \{0\}$ such that $a_i s \in \text{nil}(R)$ ($sa_i \in \text{nil}(R)$), for all $0 \leq i \leq n$, where $\text{nil}(R)$ is the set of all nilpotent elements of R .

From ([3]) we know that a ring R to be Armendariz if $f(x)g(x)=0$ implies $a_i b_j = 0$, for all polynomials $f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i$ and $g(x) = \sum_{j=0}^m b_j x^j$ from $R[x]$. A ring R is σ -skew Armendariz if $f(x)g(x) = 0$ implies $a_i \sigma^i(b_j)$ is the nilpotent element of R for all $f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i$ and $g(x) = \sum_{j=0}^m b_j x^j$ from $R[x; \sigma]$.

Every homomorphism σ of rings R and S can be extended to the homomorphism of the corresponding rings of polynomials $R[x]$ and $S[x]$ by $\sum_{i=0}^m a_i x^i \mapsto \sum_{i=0}^m \sigma(a_i) x^i$ which we also denote by σ (see [1], [2]).

In [7] is proved that if σ is ring isomorphism of rings R and S and R is α -skew Armendariz, then S is $\sigma \alpha \sigma^{-1}$ skew Armendariz ring. We give a generalization of this theorem. We also give an interesting example of upper triangular matrix weak skew Armendariz ring $V_n(R)$. At the end we deal with matrix rings of Armendariz and McCoy type and Laurent power series rings.

References:

1. D. Joka¹, "Extending of Armendariz and Central Armendariz property" The Third Conference on Mathematics in Engineering: Theory and Applications, Novi Sad, 15-19, (2019)
2. D. Joka¹, "Properties of Armendariz rings and weak Armendariz rings" Publications de l'Institut Mathematique, Nouvelle serie, tome 85(99), 131- 137, (2009)
3. M. R. Rege, S. Chhawchharia, "Armendariz rings" Proc. Japan Acad. Ser. A. Math. Sci. 73, 14-17 (1997)
4. P. P. Nielsen, "Semi-commutativity and the McCoy condition" Journal of Algebra, 298, 134-14, (2006)
5. L. Ouyang, H. Chen, "Extensions of weak McCoy rings" Preprint
6. M. J. Nakhmer, A. Najeti, M. Deldar, "On weak α -skew McCoy rings" Publications de l'Institut Mathematique, Nouvelle serie, tome 95 (109), 221- 229, (2014)
7. W. Chen, W. Tong, "On skew Armendariz and rigid rings" Houston Journal of Mathematics, 22 (2)(2007)+

ANTIPODE IN n -ARY BIALGEBRA

V.A. Artamonov¹, B. Zekovich²

¹*Affiliations, Department of Algebra, Faculty of Mechanics and Mathematics, Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Affiliations, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro*

e-mail : artamon@mech.math.msu.su, e-mail: biljanaz@t-com.me

Abstract. In this paper a notation of antipode in n -ary bialgebra H is introduced. It is shown that dual n -ary algebra H^* has antipode, too. Beside, $(2, n)$ -bialgebra $H^{(n-1)}$ and $(n, 2)$ -bialgebra $H^{\square(n-1)}$ have antipode, too. They are dual and their duality is adjusted with antipode. It is shown that $H^{(n-1)}$ is semisimple if H is semisimple. Connections with pierce decomposition are considered.

Reference

- [1] B. Zekovich, **Relations between n -ary and binary comodules**, Quasigroups and Related Systems 23 (2015), 325-332.
- [2] V. A. Artamonov, B. Zekovich, **Pierce decompositions of n -ary bialgebras**, appear
- [3] V. A. Artamonov, **On semisimple Hopf algebras with few representations of dimension greater than one**, Union Matematica Argentina, Vol 51, Num 2, 2010, P. 91-105.
- [4] V. A. Artamonov, **On semisimple finite-dimensional Hopf algebras**, Mat. Sbornik 2007, T.198, N.9.
- [5] Dascalescu S, Nastasescu, Raianu S, **Hopf algebras**, 2000. An introduction, (Pure and Applied Mathematics: a series of Monographs and Textbooks/235), Marcel Dekker, Inc, NY, BASEL, 2000.
- [6] Richard G. Larson, David E. Radford, **Finite Dimensional Cosemisimple Hopf Algebras in Characteristic 0 Are Semisimple**, Journal of Algebra 117, 267-289 (1988.)
- [7] V. A. Artamonov, B. Zekovich, **Universal enveloping algebras for n -ary algebras**, Akad. nauka i umetnosti Republike Srpske, Spomenica, Knj. VIII, Odj. Pr.mat. i teh. nauka, Knj.15, Banja Luka, 2011. str. 59-68.

ON SOME TOPOLOGICAL PROPERTIES OF PRIVALOV SPACES ON THE UNIT DISK

Romeo Meštrović¹, Žarko Pavićević²,

¹ Maritime Faculty Kotor, University of Montenegro,
Dobrota 36., 85330 Kotor, Montenegro

e-mail: romeo@ucg.ac.me

² Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro,
Džordža Vašingtona b.b., 81000 Podgorica, Montenegro

² National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
Moscow, Russia

e-mail: zarkop@ucg.ac.me

For any fixed real number $p > 1$, the class N^p , introduced by I.I. Privalov, is defined as the space of holomorphic functions f on the open unit disk $D: |z| < 1$ in the complex plane for which the function $(\log^+ |f(z)|)^p$ has a harmonic majorant on D . Here we present some topological properties of spaces N^p with applications to the linear topological structure of these spaces.

References

1. T.W. Gamelin, “Uniform algebras”, Prentice–Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
2. R. Meštrović, “F-algebras M^p ($1 < p < \infty$) of holomorphic functions”, *The Scientific World Journal* (subject area: *Mathematical Analysis*), Vol. 2014, Article ID 901726, 10 pages (2014).
3. R. Meštrović, “Topological and functional properties of some F-algebras of holomorphic functions”, *Journal of Function Spaces*, Vol. 2015, Article ID 850709, 6 pages (2015).
4. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “Topologies on some subclasses of the Smirnov class”, *Acta Scientiarum Mathematicarum*, Vol. 69, 99-108 (2003).
5. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “Weakly dense ideals in Privalov spaces of holomorphic functions”, *Journal of the Korean Mathematical Society*, Vol. 48, 397-420 (2011).
6. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “A topological property of Privalov spaces on the unit disk”, *Mathematica Montisnigri*, Vol. 31, 5-15 (2014)”.
7. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “A short survey of the ideal structure of Privalov spaces on the unit disk”, *Mathematica Montisnigri*, Vol. 32, 14-22 (2015).
8. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “A short survey of some topologies on Privalov spaces on the unit disk”, *Mathematica Montisnigri*, Vol. 40, 5-13 (2017).
9. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “On some metric topologies on Privalov spaces on the unit disk”, *Mathematica Montisnigri*, Vol. 41, 5-15 (2018).
10. R. Meštrović, Ž. Pavićević, N. Labudović, “Remarks on generalized Hardy algebras”, *Mathematica Montisnigri*, Vol. 11, 25-42 (1999); preprint arXiv:1804.02277.
11. R. Meštrović, A.V. Subbotin, “Multipliers and linear functionals in Privalov's spaces of holomorphic functions on the disk”, *Dokl. Akad. Nauk*, Vol. 365, No. 4, 452—454 (1999) (in Russian).
12. I.I. Privalov, “Boundary properties of analytic functions”, 1st edition, Moskov. Gos. Univ., Moscow (1941) (in Russian).
13. M. Stoll, “Mean growth and Taylor coefficients of some topological algebras of analytic functions”, *Annales Polonici Mathematici*, Vol. 35, 139-158 (1977).

FUZZY REDUCIBILITY IN HYPERGROUPS

Milica Kankaraš¹, Irina Cristea²

¹*University of Montenegro, Podgorica*

²*University of Nova Gorica, Slovenia*

milica_kankaras@hotmail.com

The algebraic hypergroups are the most natural generalizations of the classical groups. Binary operation is extended to a binary multivalued operation, called *hyperoperation* or *hyperproduct*, that associates with any couple of elements of a given set, a nonempty subset of it. In those hyperstructures we deal with notion of fuzzy reducibility, which is extension of classical notion of reducibility, introduced by Jantosciak. New fundamental relations are defined on a crisp hypergroup endowed with fuzzy set, which leads to a new concept of fuzzy reduced hypergroup. Fuzzy reduced hypergroup is crisp hypergroup endowed with fuzzy set such that class of equivalence of each element with respect to defined relation is singleton. The well known fuzzy set called “grade fuzzy set” is used for studying of fuzzy reducibility. We will consider reducibility and fuzzy reducibility for certain types of hypergroups.

References:

1. P. Corsini, “Prolegomena of hypergroup theory”, Aviani Editore, (1993).
2. P. Corsini, “A new connection between hypergroups and fuzzy sets”, Southeast Asian Bull. Math., 27, 221-229 (2003)
3. P. Corsini, I. Cristea, “Fuzzy sets and non complete 1-hypergroups” An. Stiint Univ. Ovidius Constanta Ser. Mat, 13, 27-54 (2005)
4. I. Cristea, “Complete hypergroups, 1-hypergroups and fuzzy sets” An. Stiint Univ. Ovidius Constanta Ser. Mat, 10(2), 25-37 (2002)
5. I. Cristea, B. Davvaz, , “Studies in Fuzziness and Soft Computing”, vol. 321, Springer, (2015)

AN OVERVIEW ON THE THOEORY OF HYPERNEAR- RINGS

Sanja Jancic Rasovic¹, Irina Cristea², Jelena Dakic¹

¹*Department of Mathematics, Faculty of Natural Science and Mathematics,
University of Montenegro, Podgorica, Montenegro*

²*Centre for Systems and Information Tecnologies, University of Nova Gorica, Slovenia
e-mail: sanja.rasovic@ucg.ac.me*

In this note the main properties of three classes of hypernear-rings are summarized. The first part of this paper contains the main results about the hypernear-rings with a defect of distributivity. The second part is devoted to the class of division hypernear-rings. The third part contains our results about the general hypernear-rings associated with a hypergroup.

References:

- [1] J. Clay, *Nearrings. Geneses and Applications*, Oxford Univ. Press, Oxford (1992).
- [2] S.D. Comer. "Polygroups derived from cogroups", *J. Algebra*, **89**(2), 397-405 (1984).
- [3] V. Dasic. "Hypernear-rings", *Algebraic hyperstructures and applications (Xanthi, 1990)*, *World Sci. Publ., Teaneck, NJ*, 75-85 (1991).
- [4] Sanja Jančić-Rašović, Irina Cristea. "Hypernear-rings with a defect of distributivity", *Filomat, Niš*, **32**(4), 1133-114 (2018) ISSN:0354-5180.
- [5] Sanja Jančić-Rašović, Irina Cristea. "Division hypernear-rings", *Analele Stiintifice ale Universitatii Ovidius Constanta, Seria Matematica ,Romania*, **26**(3), 109-126 (2018) ISSN: 1224-1784

BEHAVIOR OF THE INTERFACE BETWEEN TWO IMMISCIBLE FLUIDS IN THE THREE-DIMENSIONAL CASE

Nikola Konatar¹

¹*University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica
nikola.k@ucg.ac.me*

Problems of flow in porous media are present in many branches of industry. We investigate the dynamics of the boundary between two fluids of different densities. The flow of the fluids is governed by Darcy's law. The problem has been studied in the two-dimensional case, where the stream function was used to describe the motion of the interface. In the three-dimensional case, the stream function cannot be used, so we describe the interaction between the fluids without using it.

References

1. N. Konatar, "Dynamics of three dimensional flow in porous media" *Electron. J. Differential Equations*, Vol. 2017, No. 191, 1-5 (2017)
2. V. G. Danilov, G. A. Omelyanov, "Dynamics of the interface between two immiscible liquids with nearly equal densities under gravity.", *Eur. J. Appl. Math.* Vol. 13, 497-516 (2002)
3. M. Marohnic, D. Mitrovic, A. Novak, "On a front evolution in porous media with a source - analysis and numerics", *Bull. Braz. Math. Soc.*, Vol. 47, 521-532 (2016)
4. D. Mitrovic, J. M. Nordboten, H. Kalisch, "Dynamics of the interface between immiscible liquids of different densities with low Froude number", *Nonlinear Anal. Real World Appl.*, Vol. 15, 361-366 (2014)

GENERALIZATION OF AZZALINI'S METHOD WITH APPLICATION IN MEDICINE

Božidar Popović¹

¹*University of Montenegro, Faculty of Science and Mathematics, Podgorica, Montenegro
bozidarp@ucg.ac.me*

In the real life there are many situations where symmetric distributions are not appropriate for fitting. In that way, Azzalini's method [1] is widely used to get asymmetric or skewed distribution. Shortly this technique can be described as follows: a random variable Z probability density function (pdf) $f(z; \alpha) = 2\phi(\alpha z)\phi(z)$, where $\phi(\cdot)$ is a standard normal density function (cdf) $\Phi(\cdot)$, respectively, α is a real parameter. Let X_1, X_2 are independent random variables with pdfs $f_1(x_1)$ and $F_2(x_2)$. Then the pdf of $\alpha X_1 > X_2$

$$f_X(x) = \frac{f_1(x)F_2(\alpha x)}{P\{\alpha X_1 > X_2\}} \quad (1)$$

where $P\{\alpha X_1 > X_2\} = \int_0^\infty \left[\int_0^{\alpha x_1} f_2(x_2) dx_2 \right] f_1(x_1) dx_1 = E_{X_1}(F_2(\alpha x))$. The Eq.(1) can be interpreted as weighted distribution with weight $\omega = F_2(\alpha x)$. Described method has been used to construct new skewed distributions from a given symmetric distribution, for example, skew-t [2], skew-Cauchy [3], skew-Laplace [4] and skew-logistic [5]. The aim of this note is to generalize Azzalini's method such that it is applicable in case when X_1, X_2 are dependent random variables. Dependence can be modelled using copula function. In case of dependence of the random variables $X_i, i=1,2$ the equation (1) becomes

$$f_X(x) = \frac{f_1(x) \int_{-\infty}^{\alpha x} c(F_1(x_1), F_2(x_2); \theta) f_2(x_2) dx_2}{P\{\alpha X_1 > X_2\}},$$

where $P\{\alpha X_1 > X_2\} = E_{X_1} \left[\int_{-\infty}^{\alpha X_1} c(F_1(X_1), F_2(X_2); \theta) f_2(x_2) dx_2 \right]$ and $c(\cdot)$ is the copula function. Some statistical properties will be derived together with some particular cases. These results are applied on two biochemical data sets: C- reactive protein and insulin.

References:

- [1] Azzalini A., A class of distributions which includes normal ones, Scand. J. Stat., 12, 171-178 (1985).
- [2] Gupta A.K., Chang F.C. and Haung W.J., Some skew-symmetric models, Random Oper. Stoch. Equ. 10, 133-140 (2002).
- [3] Arnold B.C., Beaver R.J., The skew-Cauchy distribution, Statist. Probab. Lett. 49, 285-290 (2000).

CHARACTERISATION OF SMOOTH FUNCTIONS WITH GIVEN GROWTH

Marijan Marković

*University of Montenegro
Cetinjski put bb
81000 Podgorica
marijanmmarkovic@gmail.com*

In this presentation we give a characterization of continuously differentiable mappings in a domain with given growth which does not use the differential. We give application to normal mappings and Bloch mappings – two important classes of mappings in the unit disc of the plane.

References:

1. Marković, M, “Differential-free characterization of smooth mappings with controlled growth”
Canadian Mathematical Bulletin Vol. 61, 628-636 (2018)
2. Marković, M, “Holland-Walsh type theorems and applications”, to appear

ON HISTORY DEPENDENT OPTIMAL STOPPING PROBLEMS UNDER MULTIPLE PRIORS IN FINANCE

Lazar Obradović¹,

¹*Faculty of Science and Mathematics, University of Montenegro;
Center for Mathematical Economics, Bielefeld University
lazar@ucg.ac.me*

The theory of optimal stopping problems under multiple priors in discrete time was established in Riedel (2009) where the multiple priors are used to model ambiguity in accordance with maxmin expected utility theory of Gilboa and Schmeidler (1981). While the theory is rich only a handful of problems have been explicitly considered: financial applications on a binomial tree in Riedel (2009) and best choice problems in Chudjakow and Riedel (2013) and Obradovic (2018). In particular, the only financial problems that have been considered were on an ambiguous version of a binomial tree in Riedel (2009).

Using the rich model for multiple priors introduced in Obradovic (2018) a more general financial model is considered based on the standard log normal growth of financial assets. The set of priors is parametrized by a mean-variance pair that belongs to a fixed interval which allows for natural financial interpretations. Pricing, optimal exercise and minimizing measure is considered for multiple financial derivatives. Minimizing measure is obtained for vanilla options. Furthermore, a class of history dependent derivatives is considered; minimizing measures for several exotic options are fully characterized. Finally, extendibility of results in a wider dynamic setting is demonstrated.

Acknowledgements: Support of the Center for Applied Mathematics of Faculty of Science and Mathematics (University of Montenegro) is gratefully acknowledged.

References:

1. Riedel F. Optimal stopping with multiple priors. *Econometrica*. 2009 May;77(3):857-908.
2. Gilboa I, Schmeidler D. Maxmin expected utility with non-unique prior. In *Uncertainty in Economic Theory* 2004 Aug 2 (pp. 141-151). Routledge.
3. Chudjakow, Tatjana, and Frank Riedel. "The best choice problem under ambiguity." *Economic Theory* 54.1 (2013): 77-97.
4. Obradović, L. (2018). Robust Maximum Detection: Full Information Best Choice Problem under Multiple Priors. IMW Working papers

AN OVERVIEW OF KNOWN HYPER-POWER METHODS FOR THE COMPUTATION OF OUTER INVERSES AND A NEW GENERAL NEWTON METHOD

Jelena Dakić¹

¹*University of Montenegro, Podgorica
jelenaadakic@gmail.com*

Generalized inverses are defined as a suitable generalization of an ordinary matrix inverse, to the non-invertible, even non-square matrices. We will present the known iterative methods of the polynomial type for computing an outer inverse for given complex rectangular matrix with some properties. Those methods are generalization of known Schultz iterative method. Polynomials which are used in those methods are with constant coefficients, chosen in order to get higher order of convergence and less matrix multiplication per iteration.

In the new method coefficients in polynomial are computed and different in every iteration and method is convergent under the certain condition. We will show detailed procedure of computing generalized inverses and make comparison to several existing ones on a series of numerical tests.

All methods are demonstrated and confirmed by numerical examples in Matlab.

References :

1. M. D. Petković, "Generalized Schultz iterative methods for the computation of outer inverses" Computers and Mathematics with Applications, Vol. 67, 1837-1847 (2014)
2. M.D. Petković, M. S. Petković, "Hyper-power methods for the computation of outer inverses", Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 278, 110-118 (2015)
3. M. D. Petković, M. A. Krstić, K. P. Rajković, "Rapid generalized Schultz iterative methods for computation of outer inverses", Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 344, 572-584 (2018)

EXPERIMENT AND SIMULATION DEMONSTRATION OF A HIGHLY EFFICIENT TERAHERTZ RADIATION GENERATION IN A FLAT LIQUID JET

Sviatoslav A. Stumpf¹, Anton N. Tsyarkin¹, Evgenia A. Ponomareva¹, Sergey E. Putilin¹, Semen V. Smirnov¹, Maksim V. Melnik¹, Yiwen E², Sergei A. Kozlov¹, Xi-Cheng Zhang²,

¹*Department of Photonics and Optical Information Technology, ITMO University, 49 Kronverksky pr., Saint Petersburg, Russia 197101,*

²*The Institute of Optics, University of Rochester, 480 Intercampus Drive, River Campus, Rochester, NY 14627*

sviatoslav.stumpf@gmail.com

Polar liquids are strong absorbers of electromagnetic waves in the terahertz range, therefore, historically such liquids have not been considered as good candidates for terahertz sources. However, flowing liquid medium has explicit advantages, such as a higher damage threshold compared to solid-state sources and more efficient ionization process compared to gases. Here we report systematic study of efficient generation of terahertz radiation in flat liquid jets under sub-picosecond single-color optical excitation. We demonstrate how medium parameters such as molecular density, ionization energy and linear absorption contribute to the terahertz emission from the flat liquid jets. Our simulation and experimental measurements reveal that the terahertz energy has quasi-quadratic dependence on the optical excitation pulse energy. Moreover, the optimal pump pulse duration, which depends on the thickness of the jet is theoretically predicted and experimentally confirmed. The obtained optical-to-terahertz energy conversion efficiency is more than 0.05%. It is comparable to the commonly used optical rectification in most of electro-optical crystals and two-color air filamentation.

These results, significantly advancing prior research, can be successfully applied to create a new alternative source of terahertz radiation.

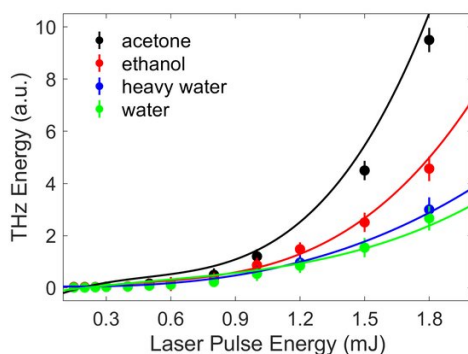


Fig. 1. Comparison of experiment and simulation results for the jets of various liquids. Comparison of the numerical simulation result (solid line) of the output terahertz energy dependence on the pump energy with experimental data (scatter) in acetone (black), ethanol (red), heavy water (blue) and water (green) with thickness of 150 μm .

References:

1. X. C. Zhang, A. Shkurinov, and Y. Zhang, "Extreme terahertz science," *Nat. Photon.* **11**, 16 (2017)
2. S. A. Kozlov and V. V. Samartsev, "Fundamentals of femtosecond optics" Elsevier (2013)
3. A.N. Tsyarkin et. al. "Flat liquid jet as a highly efficient source of terahertz radiation", *Opt.Expr.* **27**(11):15485 (2019)

GETTING LONG ABLATION CHANNELS IN PMMA WITH ASPECT RATIO ~1000 AND THEIR USE IN EXPERIMENTS WITH POWERFUL KRF LASER PULSES

V.D. Zvorykin^{1,2}, N.N. Ustinovskii¹, A.V. Shutov¹, I.G. Lebo³

¹ *P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Leninskii Pr. 53, 119991 Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe Sh. 31, 115409 Moscow, Russia*

³ *Russian Technological University "MIREA", Vernadsky Pr. 78, 119454 Moscow, Russia*
zvorykin@sci.lebedev.ru

It is well known that fast superthermal electrons with energies of a few keV exceeding average electron energy produced in laser plasma constrains maximal intensity of nanosecond pulses intended for a direct compression of thermonuclear targets in the ICF by values 10^{14} – 10^{15} W/cm². On the contrary, in a fast-ignition ICF scheme a collimated electron beam is accelerated up to 1 MeV by very high intensity $\sim 10^{19}$ W/cm² to ignite a preliminary compressed target [1]. In our modeling experiments on the GARPUN KrF laser system, powerful pulses (100 J, 100 ns) were focused into long channels obtained in PMMA (Plexiglas) due to ablation by a sequence of low power pulses of the electric-discharge KrF laser (1-3 mJ, 25 ns). At energy density of 10–30 J/cm² in the focus spot of ~ 100 - μ m diameter (the numerical aperture of the lens is 1.75×10^{-2}) and a pulse repetition rate of ~ 10 Hz, a long narrow channel with a "matching" input taper was formed in the samples (Fig.1). Its maximum length reached 3 cm with an average width of about 30 microns, which corresponds to the aspect ratio of ~ 1000 .

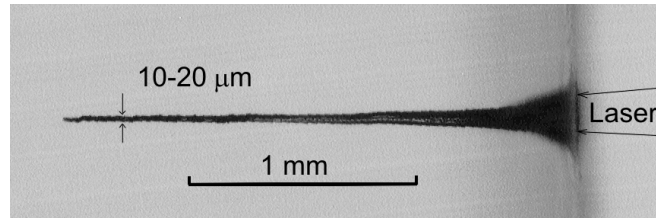


Fig.1. The channel in Plexiglas formed by repetition-rate radiation of KrF laser

Upon the subsequent focusing of powerful 100-ns pulses with intensity of 10^{12} – 10^{13} W/cm² in the 5-mm length channel, fast electrons with energy of several tens of keV significantly exceeding the temperature of ~ 100 eV in the plasma corona were generated. Comparison of experimental and calculated data showed that the development of thermal filamentation of the laser beam in the extended plasma could lead to a local increase in the radiation intensity by more than an order of magnitude.

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 19-02-00875).

References

1. S. Atzeni, Plasma Phys. Control. Fusion, **51**, 124029 (2009).
2. I. Limpoukh and V.B. Rozanov, Sov. J. Quantum Electron. **14**, 955–960 (1984).

ПОЛУЧЕНИЕ ДЛИННЫХ АБЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ В ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТЕ С АСПЕКТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ ~1000 И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С МОЩНЫМ KRF ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

В.Д.Зворыкин^{1,2}, Н.Н. Устиновский¹, А.В. Шутов¹, И.Г. Лебо³

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва

² Нац. исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Каширское ш. 31, 115409 Москва

³ Российский технологический университет “МИРЕА”, пр. Вернадского. 78, 119454 Москва

zvorykin@sci.lebedev.ru

Известно, что быстрые электроны с энергиями в несколько кэВ, превышающими среднюю энергию тепловых электронов в лазерной плазме, уменьшают сжатие мишеней в ЛТС при интенсивностях наносекундных импульсов 10^{14} – 10^{15} Вт/см². Напротив, в ЛТС с быстрым зажиганием коллимированный пучок электронов ускоряемый до 1 МэВ при высокой интенсивности $\sim 10^{19}$ Вт/см² служит для воспламенения предварительно сжатой мишени [1]. В наших экспериментах на Krf лазерной установке ГАРПУН мощные импульсы излучения (100 Дж, 100 нс) фокусировались в длинные каналы, полученные в полиметилметакрилате (оргстекле) за счет абляции последовательностью импульсов электроразрядного Krf лазера с низкой мощностью (1–3 мДж, 25 нс). При плотности энергии 10–30 Дж/см² в пятне фокусировки с диаметром ~ 100 мкм (числовая апертура линзы 1.75×10^{-2}) и частоте повторения импульсов ~ 10 Гц в образцах формировался длинный узкий канал с “согласующим” входным конусом (Рис.1). Его предельная длина достигала 3 см при средней ширине около 30 мкм, что соответствует аспектному отношению ~ 1000 .

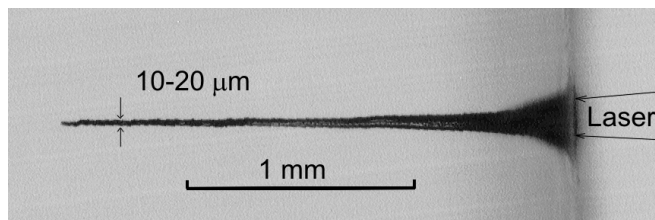


Рис.1. Канал в оргстекле образованный импульсно-периодическим излучением Krf лазера.

При последующей фокусировке мощных 100-нс импульсов с интенсивностью 10^{12} – 10^{13} Вт/см² в 5-мм канале генерировались электроны с энергией в несколько десятков кэВ, значительно превышающей температуру ~ 100 эВ в плазменной короне. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что развитие в протяженной плазме тепловой филаментации лазерного пучка могло приводить к локальному возрастанию интенсивности излучения более чем на порядок величины.

Благодарности: Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (Грант 19-02-00875).

Литература

1. S. Atzeni, Plasma Phys. Control. Fusion, **51**, 124029 (2009).
2. I. Limpoukh and V.V. Rozanov, Sov. J. Quantum Electron. **14**, 955–960 (1984).

LUMINESCENCE PROPERTIES OF BI DOPED (0 – 50)SnO- (100 – 50)GeO₂ GLASSES

B. Denker¹, B. Galagan¹, V. Mashinsky², S. Sverchkov¹, E. Dianov²

1. Prokhorov General Physics Institute of RAS, 119991, Vavilov str. 38, Moscow, Russia

2. Fiber Optics Research Center of RAS, 119333, Vavilov str. 38, Moscow, Russia

e-mail: denker@lst.gpi.ru

It was found that SnO addition widens the emission spectrum of Bi:GeO₂ glass and shifts it in the short-wavelength direction. This emission band overlaps the spectral gap at 1540-1600 nm where no laser action in Bi-activated materials has been obtained yet. The amplifiers covering this gap may be of great interest for telecommunication systems of the next generation. The changes in the spectra and in lifetimes give a reason to assume that a variety of new types of bismuth emission centers are formed in these glasses.

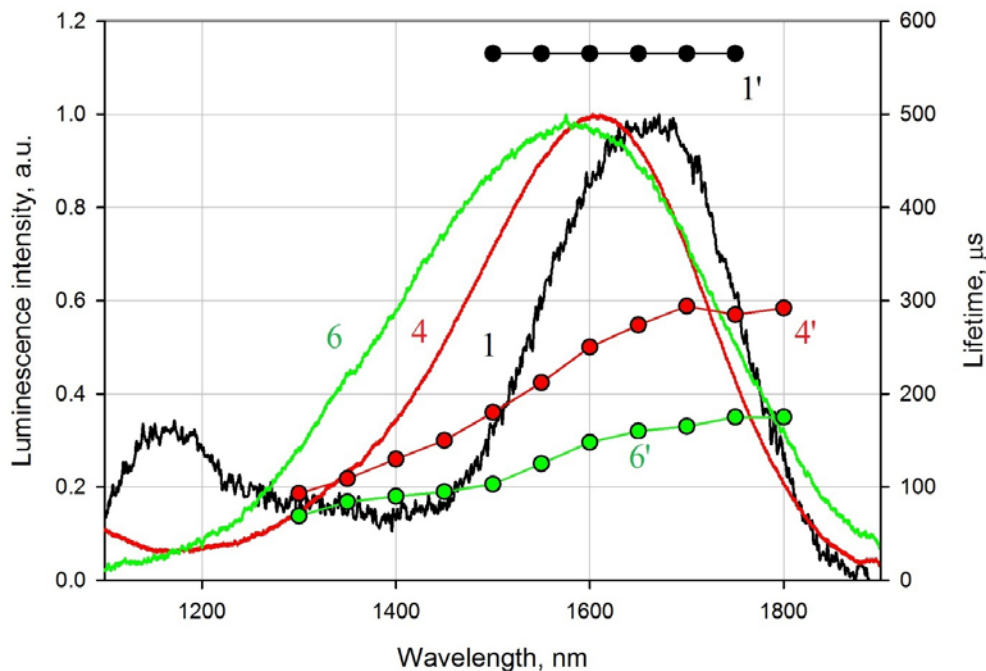


Fig.1. Emission spectra of the samples ## 1 (100GeO₂), 4 (20 SnO-80 GeO₂) and 6 (50 SnO-50 GeO₂) and their luminescent lifetime dependencies (1',4' and 6').

Acknowledgments. The investigation was supported by RFBR (grant 17-02-00368) in the part of GeO₂ –SnO glass synthesis and by the Program #32 of RAS Presidium in the part of Bi doped glass fiber investigation. We are also grateful for Dr. R. Panikarova and Dr. V. Pimenov from the Institute of Chemistry of High-Purity Substances of RAS for performing the atomic emission analysis.

Tm³⁺ DOPED NON-LINEAR MEDIA

Ivleva L.I., Voronina I.S., Dunaeva E.E., Lykov P.A., Doroshenko M.E., Papashvili A.G.

Prokhorov General Physics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,

ivleva@lst.gpi.ru.

The possibilities of creation of effective laser-nonlinear media working in visible and near-IR spectral range are of interest. The great intension is attracted to compact, chemically and thermally stable solid-state nonlinear materials doped with rare earth ions. At the same time the lasers based on crystals doped with Tm³⁺ ions are notable for their high efficiency and wide spectral generation band.

The Tm³⁺ doped materials that were studied in the work were: SrMoO₄ belonged to the crystals with scheelite structure, Ca₃(VO₄)₂ with similar whitlockite-type structure, Sr_{0.61}Ba_{0.39}Nb₂O₆ having the structure of tetragonal tungstate bronze. These structures are partially disordered that gives wide possibilities to modify their characteristics due to substitution of the host ions by the ions of rare-earth, while the local charge compensation can be provided through formation of cationic and oxygen vacancies. Strontium molybdate SrMoO₄ is well-known and highly efficient Raman medium. It can be doped with rare earth ions to combine laser and SRS properties for compact self-Raman laser operation at wavelengths from 1.06 μm up to the transmission edge of 5 μm [1]. Calcium orthovanadate Ca₃(VO₄)₂ has been investigated earlier for high-temperature ferroelectricity (T_C=1383 K), second-harmonic generation, and stimulated Raman (Ω_R=854 cm⁻¹) scattering. Recently, Ca₃(VO₄)₂:Tm³⁺ was suggested as a new crystalline medium for 2-μm lasers [2]. Sr_{0.61}Ba_{0.39}Nb₂O₆ (SBN:61) solid solution is effective photorefractive medium. Electro-optical coefficients of the crystals are the highest ones among oxide materials [3].

In this work SrMoO₄ and Ca₃(VO₄)₂ single crystals were grown by Czochralski method. SBN:61 crystals were obtained from the melt by modified Stepanov technique. The concentration series of doped crystals were investigated and isomorphic capacity for the doping ion was defined. The location of Tm³⁺ doping ion in crystalline cell depending on structure peculiarities of investigated material was considered. The direct comparison of the individual characteristics of these Tm³⁺ doped materials in the context of laser-nonlinear media was made. Spectroscopic and laser properties were analyzed.

References

1. T. Basiev, M. Doroshenko, L. Ivleva, I. Voronina, V. Konjushkin, V. Osiko, S. Vasilyev, " Demonstration of high self-Raman laser performance of a diode-pumped SrMoO₄:Nd³⁺ crystal" Optics Letters, Vol.34, N 7, pp 1102-1104 (2009).
2. L. Ivleva, E. Dunaeva, I. Voronina, M. Doroshenko, A. Papashvili, " Ca₃(VO₄)₂:Tm³⁺—a new crystalline medium for 2-μm lasers", J. Cryst. Growth, Vol. 501, pp 18-21 (2018)
3. T. Volk, N. Ivanov, D. Isakov, L. Ivleva, P. Lykov, " Electro-optical properties of strontium–barium niobate crystals and their relation to the domain structure of the crystals", Physics of the Solid State, Vol. 47, No. 2, pp. 305–311 (2005).

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ИОНАМИ Tm^{3+}

Ивлева Л.И., Воронина И.С., Дунаева Е.Э., Лыков П.А., Дорошенко М.Е., Папашвили А.Г.

Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН, Москва, Россия

ivleva@lst.gpi.ru

Возможности создания эффективных лазерно-нелинейных сред, работающих в видимой и ближней ИК-области спектра представляют несомненный интерес. Наибольшее внимание привлекают компактные, химически и термически стабильные твердотельные нелинейно-оптические материалы, легированные ионами РЗ металлов. В то же время лазеры на основе кристаллов, легированных ионами Tm^{3+} , отличаются высокой эффективностью и широкой спектральной полосой генерации.

В настоящей работе были исследованы некоторые оксидные монокристаллы, легированные ионами Tm^{3+} , а именно: $SrMoO_4$, кристаллизующийся в структуре шеелита; $Ca_3(VO_4)_2$ со структурой витлокита; $Sr_{0.61}Ba_{0.39}Nb_2O_6$ (SBN:61), имеющий структуру тетрагональной вольфрамовой бронзы. Эти структуры относятся к частично неупорядоченным структурам, что дает широкие возможности для изменения их характеристик за счет замещения ионов матрицы ионами РЗ элементов, при этом локальная компенсация заряда может быть осуществлена за счет катионных и/или кислородных вакансий. $SrMoO_4$ является известной и высокоэффективной Рамановской средой. $SrMoO_4$, легированный редкоземельными ионами, объединяет лазерные и ВКР свойства, и может быть использован для создания Рамановского лазера, работающего в спектральном диапазоне от 1,06 мкм до 5 мкм [1]. $Ca_3(VO_4)_2$ был ранее исследован как высокотемпературный сегнетоэлектрик ($T_C=1383K$), для генерации второй гармоники и вынужденного комбинационного рассеяния ($\Omega_R=854\text{ см}^{-1}$). Относительно недавно $Ca_3(VO_4)_2:Tm^{3+}$ был предложен в качестве новой кристаллической среды для 2-мкм лазеров [2]. SBN:61 твердый раствор является эффективной фоторефрактивной средой. Электрооптические коэффициенты данных кристаллов являются самыми высокими среди оксидных материалов [3].

Монокристаллы $SrMoO_4$ и $Ca_3(VO_4)_2$ выращены методом Чохральского, SBN:61 получен модифицированным способом Степанова. Исследованы концентрационные ряды легированных кристаллов и определена изоморфная емкость легирующего иона для каждой матрицы. Рассмотрены варианты расположения легирующего иона Tm^{3+} в кристаллической ячейке в зависимости от особенностей структуры исследуемого материала. Проведено сравнение индивидуальных характеристик легированных Tm^{3+} материалов в контексте лазерно-нелинейных сред. Проанализированы спектроскопические и лазерные свойства полученных монокристаллов.

Литература:

1. T. Basiev, M. Doroshenko, L. Ivleva, I. Voronina, V. Konjushkin, V. Osiko, S. Vasilyev, "Demonstration of high self-Raman laser performance of a diode-pumped $SrMoO_4:Nd^{3+}$ crystal" Optics Letters, Vol.34, N 7, pp 1102-1104 (2009).
2. L.Ivleva, E. Dunaeva, I. Voronina, M. Doroshenko, A. Papashvili, "Ca₃(VO₄)₂:Tm³⁺—a new crystalline medium for 2-μm lasers", J.Cryst.Growth, Vol. 501, pp 18-21 (2018)
3. T. Volk, N. Ivanov, D. Isakov, L. Ivleva, P. Lykov, "Electro-optical properties of strontium–barium niobate crystals and their relation to the domain structure of the crystals", Physics of the Solid State, Vol. 47, No. 2, pp. 305–311 (2005).

NEAR-ELECTRODE PROCESSES IN POLAR DIELECTRIC CRYSTALS

N. S. Kozlova,¹ A. P. Kozlova,¹ E. V. Zabelina,¹

¹*NUST "MISiS, 4, Leninskii pr., Moscow Russia*

** kozlova_nina@mail.ru corresponding Author:*

It is known that the application of metal electrodes on the surface of crystals of polar cuts leads to aging and degradation, and the nature of the electrodes significantly affects the measured electrophysical parameters. For the first time this phenomenon was observed by us on lithium iodate crystals (α -LiIO₃) and well studied. [1] This phenomenon is due to the different chemical activity of the crystal surfaces perpendicular to the polar axis with applied conductive coatings. This leads to electrochemical self-decomposition of the polar crystal surfaces and manifests itself in spontaneous generation of electromotive force (EMF) and short-circuits currents (SCC). [2]. This phenomenon is characteristic only for polar crystals and only for the samples, which were cut in perpendicular direction to polar axis, is supported by fixed short-circuits currents under room temperature for all investigation polar and the polar-neutral crystals (LiNbO₃, KH₂PO₄, etc.).

In recent years, we have been actively studying the manifestation of this phenomenon in the practically important crystals of the langasite group: lanthanum – gallium tantalate crystal La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄ and lanthanum – gallium silicate La₃Ga₅SiO₁₄ are of interest as piezoelectric material. Physical properties of these crystals make possible their wide application in piezoelectronics and in the production of high-temperature devices.

The technology of high temperature devices based on crystals of the langasite group includes the coating of the surfaces of their polar cuts with the thin layer of a metal conducting material. Application of the metal electrodes leads to the degradation of surfaces, which shortens the lifetime of devices, especially at the high temperatures. The investigation of electrophysical properties of the structure «electrode / crystal/ electrode» is necessary to understand the processes of degradation. The influence of the electrode material on the electrical parameters was investigated. The following conductive coating materials were used: iridium (Ir), gold (Au), gold with a titanium sublayer (Au(Ti)), silver with a chromium sublayer (Ag(Cr)) and tantalum (Ta). Analysis of the data confirms that the polar cut of crystals of the langasite group with coated electrodes in essence is the electrochemical cell. This phenomenon was previously described on the other crystals. [1]. The electrochemical interaction of the conductive coatings with the surfaces of the crystals of the langasite group leads to the degradation of the conductive coating. To study the interaction a method of current spectroscopy has been used in the temperature range from 20 to 600 °C.

Thus, identifying the causes and nature of changes in the state of the crystal, which manifests itself in the anomalous behavior of some properties of crystals of the langasite group and the occurrence of SCC, is not only of practical interest, but also important for fundamental studies of a number of polar crystals.

References

- [1] A.A. Blistanov, N.S. Kozlova, V.V. Geras'kin, *Izvestiya Vysshih uchebnyh zavedeniy. Cvetnaya metallurgiya*, №4, p.p. 66-71, 1996. (in Russian)
- [2] A.A. Blistanov, N.S. Kozlova, V.V. Geras'kin, *Ferroelectrics*, vol.198, p.p.61-66, 1997

ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

Н. С. Козлова^{1,}, А. П. Козлова¹, Е. В. Забелина¹*

¹ НИТУ "МИСИС", 4, Ленинский пр., Россия

*: kozlova_nina@mail.ru Автор для переписки

Известно, что нанесение металлических электродов на поверхность кристаллов полярных срезов приводит к старению и деградации, а природа электродов существенно влияет на измеряемые электрофизические параметры. Впервые это явление наблюдалось нами на кристаллах иодата лития (α -LiIO₃) и хорошо изучено [1]. Данное явление обусловлено различной химической активностью поверхностей кристаллов, перпендикулярных полярной оси, с нанесенными на них проводящими покрытиями. Это приводит к электрохимическому саморазложению поверхностей полярных кристаллов и проявляется в самопроизвольного возникновения ЭДС и токов короткого замыкания (ТКЗ). [2]. Данный эффект характерен только для полярных кристаллов и только для образцов, которые были вырезаны перпендикулярно полярной оси, и наблюдается в виде ТКЗ уже при комнатной температуре во всех исследуемых кристаллах полярных и полярно-нейтральных классов (LiNbO₃, KN₂PO₄ и др.).

В последние годы мы активно изучаем проявления этого феномена в практически важных кристаллов группы лангасита: лантан – галлиевого танталата La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄ и лантан – галлиевого силиката La₃Ga₅SiO₁₄, которые представляют интерес в качестве пьезоэлектрического материала. Физические свойства этих кристаллов делают возможным их широкое применение в пьезоэлектронике и в производстве высокотемпературных приборов.

Технология высокотемпературных устройств на основе кристаллов группы лангасита включает покрытие поверхностей их полярных срезов тонким слоем металлического проводящего материала. Исследование электрофизических свойств структуры «электрод / кристалл / электрод» необходимо для понимания процессов деградации. Использовались следующие проводящие материалы покрытия: иридий (Ir), золото (Au), золото с подслоем титана (Au(Ti)), серебро с подслоем хрома (Ag(Cr)) и тантал (Ta). Анализ данных подтверждает, что полярные срезы кристаллов группы лангасита с нанесенными на них электродами, в сущности, представляют собой электрохимическую ячейку. Это явление было ранее описано на других кристаллах. [1]. Электрохимическое взаимодействие токопроводящих покрытий с поверхностями кристаллов группы лангасита приводит к деградации проводящих покрытий. Для исследования взаимодействия использован метод спектроскопии тока в интервале температур от 20 до 600 °С.

Таким образом, выявление причин и характера изменения состояния кристалла, проявляющегося в аномальном поведении некоторых свойств кристаллов группы лангасита и возникновении ТКЗ, представляет не только практический интерес, но и важно для фундаментальных исследований ряда полярных кристаллов.

Ссылки на литературу:

[1] А.А. Блестанов, N.S. Kozlova, V.V. Geras'kin, *Izvestiya Vysshih uchebnyh zavedeniy. Cvetnaya metallurgiya*, №4, p.p. 66-71, 1996. (in Russian)

[2] А.А. Блестанов, N.S. Kozlova, V.V. Geras'kin, *Ferroelectrics*, vol.198, p.p.61-66, 1997

**ОПИСАНИЕ АНСАМБЛЯ СЛУЧАЙНЫХ ТРАЕКТОРИЙ, ПОРОЖДАЕМЫХ
ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ,
С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ
ФОККЕРА - ПЛАНКА**

Клочкова Л.В., Орлов Ю.Н., Тишкин В.Ф.

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ им. М.В. Келдыша
РАН), Москва, Россия*

klud2015@mail.ru

Для математического прогнозирования стохастических процессов в нелинейных средах строится метод определения выборочного коэффициента корреляции для нестационарных временных рядов. Отличие от стационарного случая состоит в том, что одновременно с величиной коэффициента корреляции строятся эмпирические статистики оптимальной длины выборки и доверительного интервала, содержащего коэффициент корреляции в наибольшем числе случаев. Вместо изучения одной из возможных реализаций временного ряда предлагается рассмотреть ансамбль случайных траекторий, порождаемых эмпирической функцией распределения. Модель предлагается для описания изменения во времени функционалов, заданных на случайных траекториях и имеющих практическое значение. Это, например, индикатор уровня загрязнения мегаполиса в виде средней концентрации вредных веществ за определенный период времени, аналогичный индикатор изменения эпидемиологической обстановки в регионе, функционал эффективности управления загрязнением в виде снижения уровня загрязнения в результате определенных действий и т.п. С этой целью рассматривается кинетическое уравнение Фоккера-Планка для выборочной плотности функции распределения случайных величин, наблюдаемых на практике в виде временных рядов.

**DESCRIPTION OF THE ENSEMBLE OF RANDOM TRAJECTORIES
GENERATED BY THE EMPIRICAL DISTRIBUTION FUNCTION, WITH THE
HELP OF MATHEMATICAL MODELING ON THE BASIS OF KINETIC
EQUATIONS FOKKER-PLANCK**

Liudmila Klochkova, Yuriy Orlov, Vladimir Tishkin

KIAM of RAS , Moscow, Russia,
klud2015@mail.ru

For mathematical prediction of stochastic processes in non-linear media the method of determination of sample correlation coefficient for non-stationary time series is constructed. The difference from the stationary case is that simultaneously with the value of the correlation coefficient, empirical statistics of the optimal sample length and the confidence interval containing the correlation coefficient in the largest number of cases are constructed. Instead of studying one of the possible realizations of the time series, it is proposed to consider an ensemble of random trajectories generated by the empirical distribution function. The model is offered for the description of change in time of the functionals given on random trajectories and having practical value. This is, for example, an indicator of the level of pollution of the metropolis in the form of an average concentration of harmful substances for a certain period of time, a similar indicator of changes in the epidemiological situation in the region, the functional of efficiency of pollution control in the form of time series.

THE PFC MODEL WITH ATOMIC DENSITY FLUCTUATIONS

Ilya Starodumov¹, Irina Nizovtseva¹, Peter Galenko²

¹ *Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modeling, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*

² *Friedrich-Schiller-Universitat Jena, Physikalisches-Astronomische Fakultät, Jena, Germany*

e-mail: ilya.starodumov@urfu.ru

The mathematical modeling of crystal structures and their dynamics during the structural transitions can be performed by the method of phase field crystal in the hyperbolic formulation (MPFC method). The model can be considered from the Swift-Hohenberg equation and the Density Functional Theory. This method is suitable for a continual modeling of the atomic density field at diffusion time intervals. The unstable behavior of the solution near local energy minima is discussed.

The authors propose the hypothesis of the formation of metastable structures during the relaxation of domain to the stable state. Due to the presence of the set of different possible structures on the system's transformation path, the pattern of the atomic density field could remain still when the system is in the vicinity of local free energy minima [1,2].

To perform reliable simulations, one should take into account the factors leading to the appearance of instability. Special additional term for describe atomic vibrations in the field of atomic density should allow the system to come out of metastable states and increase the rate of formation of equilibrium and stable states consistent with diagrams of structures. The approach of introducing the noise as a fluctuation effect developed for the WCT and mean-field theories may be utilized in the PFC model. The narrow approach of introducing the noise-terms in the stochastic hyperbolic phase-field models [3] could be used as a base for the physically-consisted fluctuations.

We propose the simple stochastic extension of hyperbolic PFC-model to find the effect of fluctuations on the dynamics of atomic density field. Results of simulations in presence and in lack of noise indicate that the moderate noise of the atomic density field amplitude could provide the quick relaxation.

Acknowledgements: Authors acknowledge the support by the Russian Science Foundation under the project no. 19-71-10044.

1. I. Starodumov, P. Galenko, N. Kropotin, D. V. Alexandrov, "Influence of initial seed distribution on the pattern formation of the phase field crystals" AIP Conference Proceedings, 1906, 200006 (2017).

2. I. Starodumov, D. Alexandrov, and E. Pavlyuk, "On the stability of high-performance crystal growth simulations by the MPFC method", AIP Conference Proceedings, 1997, 020065 (2018).

3. D. Kharchenko, I. Lysenko, P. Galenko, "Fluctuation effects on pattern selection in the hyperbolic model of phase decomposition", Stochastic Differential Equations, (2011).

МОДЕЛЬ PFC С УЧЕТОМ ФЛУКТУАЦИЙ ПОЛЯ АТОМНОЙ ПЛОТНОСТИ

И.О. Стародумов¹, И.Г. Низовцева¹, П.К. Галенко²

¹ *Лаборатория многомасштабного математического моделирования, Уральский федеральный университет, г.Екатеринбург, Россия*

² *Университет Фридриха-Шиллера, г.Йена, Германия
e-mail: ilya.starodumov@urfu.ru*

Математическое моделирование кристаллических структур и их динамики при структурно-фазовых переходах может быть выполнено методом кристаллического фазового поля в гиперболической постановке (метод MPFC). Модель MPFC может быть получена из уравнения Свифта-Хоэнберга и теории функционала плотности. Этот метод подходит для моделирования непрерывного поля атомной плотности на диффузионных временных интервалах. Целью настоящего исследования является изучение поведения неустойчивого решения вблизи локальных минимумов энергии.

Ранее авторами была выдвинута гипотеза об образовании метастабильных структур при релаксации домена до устойчивого состояния. Из-за наличия множества различных возможных структур на пути трансформации системы, поле атомной плотности может оказаться стационарным и в том случае, когда система находится в окрестности локальных минимумов свободной энергии [1,2].

Для проведения надежного моделирования необходимо учитывать факторы, приводящие к появлению неустойчивости вблизи таких локальных минимумов. Дополнительный учет в модели специального аддитивного члена для описания колебания поля атомной плотности должен позволять системе выходить из метастабильных состояний и увеличивать скорость образования равновесных и устойчивых состояний. В качестве аддитивного члена могут быть использованы модели шума, ранее успешно примененные в гиперболических моделях фазового поля [3].

В настоящей работе рассмотрено простое стохастическое расширение гиперболической PFC-модели для определения влияния флуктуаций на динамику поля атомной плотности. Результаты моделирования в присутствии и в отсутствие шума показывают, что умеренный шум поля атомной плотности действительно может обеспечить быструю релаксацию.

Благодарности: Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-71-10044.

1. I. Starodumov, P. Galenko, N. Kropotin, D. V. Alexandrov, "Influence of initial seed distribution on the pattern formation of the phase field crystals" AIP Conference Proceedings, 1906, 200006 (2017).
2. I. Starodumov, D. Alexandrov, and E. Pavlyuk, "On the stability of high-performance crystal growth simulations by the MPFC method", AIP Conference Proceedings, 1997, 020065 (2018).
3. D. Kharchenko, I. Lysenko, P. Galenko, "Fluctuation effects on pattern selection in the hyperbolic model of phase decomposition", Stochastic Differential Equations, (2011).

EXTREME POINTS OF MULTIDIMENSIONAL FUNCTIONS

Jela Šušić

University of Montenegro, Faculty of Mathematics, Cetinjski put bb, Montenegro

E-mail address: jela.susic@gmail.com

Abstract. In this paper we give a generalization of the notion of the extremum of a real function to the multidimensional case. Our aim consists in the fact that in this generalization the usual properties.

References

- [1] Arkhipov, G.I., Sadovnichy, V.A., Chubarikov, V.N. Lectures on mathematical analysis., Part 1 — Moscow (1800), 1995.
- [2] Arkhipov, G.I., Sadovnichy, V.A., Chubarikov, V.N. Lectures on mathematical analysis., Part 2 — Moscow (1800), 1997.

FEMTOSECOND LASER INSCRIPTION OF WAVEGUIDES IN POROUS GLASS

Zhong L.^{1,2}, R. A. Zakoldaev^{1,*}, M. M. Sergeev¹, V. P. Veiko¹, T. V. Antropova³

¹ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, St. Petersburg 197101, Russia

²Huazhong University of Science & Technology, Luoyu Road 1037, Wuhan, China

³Grebenshchikov Institute of Chemistry of Silicates, Russian Academy of Sciences, 2 Makarova nab., 199034, St. Petersburg, Russia

*e-mail:zakoldaev@gmail.com

High refractive index contrast (Δn) is highly deserved for promoting the compactness of laser direct written photonic circuits. But the Δn of dense silicate material irradiated by tightly focused laser pulses come to approach its limit, because the applied pulse energy is close to the damage threshold of material, which resulted in generation of cracks growing rapidly with increasing of pulse energy [1]. Even if we achieve high Δn in a monolithic glass, there still exist shortcomings such as hard control of stress distribution and non-uniform refractive index profile [2]. A novel substrate based on a porous glass (PG) was proposed as a promising alternative for realizing high-compact photonic circuits. Laser-induced nanopores collapse causes densification of glass material leading to high Δn contrast with an extended limit of 0.1 [3].

In the present research, femtosecond laser induced nanopores collapse was exploited as a new way of inscription of waveguides with high refractive index contrast (2×10^{-2}) in PG, where the densification region and surrounding rarefaction region act as core and suppressing cladding respectively. These waveguides possess high average refractive index contrast of 6×10^{-3} , which is estimated by rigorous coupled-wave analysis (RCWA) of waveguides array with a period of 60 μm , and low evanescent coupling between adjacent waveguides even with a distance of 10 μm .

A combination of high refractive index contrast and stress-free properties opens a way for PG as a promising substrate for fabrication of high compact and multifunctional photonic chips.

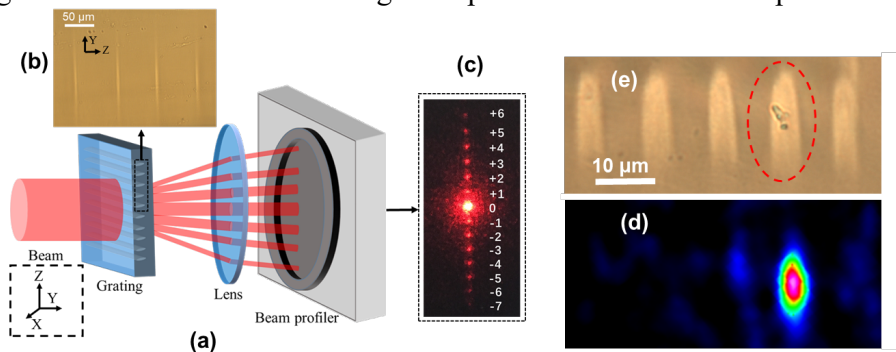


Figure 1. Experimental setup (a) for measurement of diffraction efficiencies of waveguide array (written by 1.6 μJ , 250 $\mu\text{m/s}$) with a period of 60 μm (b), where diffraction pattern (c) inserted. Measured near-field mode profile (d) of waveguides array with a period of 10 μm (e) and injected waveguide indicated by dashed ellipse.

Acknowledgements: The reported study was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, research agreement №14.587.21.0037 (RFMEFI58717X0037).

REFERENCES:

- [1] Eaton S.M., et.al. (2011). *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357(11-13), 2387-2391.
- [2] Thomson R. R., et.al. (2012). Springer, Berlin, Heidelberg (pp. 93-125).
- [3] V. P. Veiko, et.al, *Laser Phys. Lett.* 13, 055901 (2016).

SOLUTION OF THE INVERSE BOUNDARY PROBLEM FOR THE STURM-LIOUVILLE OPERATOR WITH DELAY

Milenko T. Pikula¹, Dragana D. Nedić², Milica Č. Bošković³

¹University of East Sarajevo, Faculty of Philosophy Pale, Bosnia and Herzegovina

²University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering Doboj, Bosnia and Herzegovina

³University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Bosnia and Herzegovina

pikulam1947@gmail.com

Abstract: The topic of this paper is spectral boundary problem generated by:

$$-y''(x) + q(x)y(x-\tau) = \lambda y(x) = z^2 y(x), \quad q \in L_2[0, \pi]$$

$$y(x-\tau) \equiv 0, \quad x \in [0, \pi), \quad \tau \in \left[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{5} \right)$$

$$y'(0) - hy(0) = 0, \quad h \in \mathbb{R}$$

$$y'(\pi) + Hy(\pi) = 0, \quad H \in \mathbb{R}$$

We will present the problem in a shorter way further in the text

$$D^2 y = \lambda y = z^2 y \quad (*)$$

If potencial q is absolutely continius function, then inverse problem (*) is solved in [4].

For $q \in L_2[0, \pi]$ and $\tau \in \left[\frac{2\pi}{5}, \pi \right)$ inverse problem is also solved.

We emphasise that the problem of construction of the potential with the method of characteristic functions is reduced to solving a linear integral equation of Wolterr's type with removable argument.

The standard method of solving this equation without delay is based on the fact that Wolterr's operator is with a certain degree of contraction.

In this paper we used a new method of „small steps“ and in that way we proved the fundamental result: The two sequences of eigenvalues of the operator D^2 obtained by varying the boundary condition at the right end uniquely generate the operator.

Bibliography

- [1] Ambarzumjan V., Über eine Frage der Eigenwerttheorie, Zeitschr. fr Physik, -Bd.53., -S. , 690-695 (1929).
- [2] Borg S., Eine Umkehrung der Sturm-Liouvillschen Eigenwertaufgabe, Acta Math. Bd.78.No.1. -S , 1-96 (1946).
- [3] И.М. Гельфанд и Б.М. Левитан, Об определении дифференциального уравнения по его спектральной функции, Известия Российской академии наук, Серия математическая 15.4 (1951): 309-360.
- [4] Пикула М., Определение дифференциального оператора типа Штурма-Лювилля с запазывающим аргументом по двум спектрам, Математики Весник, (112), 159-171, (1991).
- [5] Yurko, V. A., Buterin, S. A., Pikula, M., Sturm-Liouville differential operators with deviating argument. Tamkang Journal of Mathematics, 48(1), 49-59, (2017).
- [6] V. Vladičić, M. Pikula, An inverse problems for Sturm-Liouville-type differential equation with a constant delay, Sarajevo Journal of Mathematics, DOI: 10.5644/SJM.12.1.06 Vol.12 (24), No.1, 83–88, (2016).
- [7] Chuan-Fu Yang, Trace and inverse problem of a discontinuous Sturm-Liouville operator with retarded argument, J. Math. Anal. Appl. 395,30-41 (2012).
- [8] Драгана Д. Недић, Миленко Т. Пикула, Рјешење инверзног задатка за оператор са хомогеним кашњењем асимптотским методом, Fourth Mathematical Conference of the Republic of Srpska, Proceedings, Требиње (2015.), 347-362.