

**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"**

XVI International Seminar

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

PROGRAM and ABSTRACTS

LPpM3.ru

**5 — 10 June, 2017
Petrovac, Montenegro**

***Computer processing of the press Olga Koroleva, Moscow, Russia.
Press: "AP PRINT", Podgorica, Montenegro***

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. Vitaliy 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

PROGRAM.....	9
ABSTRACTS.....	25
PLENARY PRESENTATIONS ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	
A. S. Boldarev, G. A. Bagdasarov, V. A. Gasilov, P. V. Sasorov, O.G. Olkhovskaiy, D. R. Khikhluha. Simulations of Plasma Dynamics and Laser-Plasma Processes in Capillary Discharges.....	26
V.I. Mazhukin, P.V. Breslavskiy. Dynamic adaptation in problems of gas dynamics.....	27
INVITE PRESENTATIONS ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ	
A.A. Samokhin, V.I. Mazhukin, M.M. Demin, A.V. Shapranov, A.E. Zubko. Molecular dynamics modeling of nanosecond laser ablation: subcritical and transcritical regime.....	29
V.P. Veiko, A. Samokhvalov, R. Zakoldaev, M. Sergeev. The features of laser-induced μ -plasma ($L\mu P$) for transparent materials processing	31
A.G. Kaptilniy, A.A. Karabutov. Dynamic control of thermodynamic cycle of laser heating of metal with impedance border of irradiation	32
M.P. Galanin, A.P. Lototckiy, A.S. Rodin. The task of high-speed loading of an aluminum strip simulation at large plastic deformations	34
V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, M.M. Demin. Simulation of ns-laser explosive boiling of metal in approximation of continuum approach	35
V.I. Mazhukin. Methods of mathematical modeling in historical research.....	37
M.M. Gorbunov-Posadov, M.P. Galanin, T.A. Polilova. The preparation and publication of scientific monographs in Russia	38
A.A. Samokhin. Russian scientific community external and internal challenges	39
V.I. Mazhukin. About some features of scientometrics.....	40
ORAL PRESENTATIONS УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	
B.I. Denker, B.I. Galagan, S.E. Sverchkov, V.V. Velmiskin Fluorescent properties of tin containing glasses.....	41
L.I. Ivleva, E. Dunaeva. Crystallization and shaping processes of oxide crystals.....	43
N.S. Kozlova, Goreeva G.A., Bykova M.B., Didenko I.S., Zabekina E.V., Kozlova A.P. The role of reference Samples in obtaining reliable experimental results.....	44
O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin. Simulation of the narrowing of band gap of silicon	45
K.V. Khishchenko. Equation of state and phase transformations of silicon at high temperatures and pressures.....	47
A.V. Berezin, M.B. Markov, I.A. Tarakanov, Y.A. Volkov. Conductivity current in silicon.....	48
B.P. Rybakin. Computer simulation of shock wave interaction with molecular clouds.....	49

A.V. Berezin, F.N. Voronin, V.A. Gasilov, K.K. Inozemtseva, M.B. Markov, S.V. Parotkin. Fluid dynamic effects in high-energy electrons flux.....	50
V.A. Egorova, M.E. Zhukovskiy, R.V. Uskov. An approach to the radiation effects modeling by the application of the cascade correlation neural networks.....	51
E.N. Bykovskaya. Application of cabaret difference scheme to the method of dynamic adaptation on the example of burgers equation.....	52
O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin. Modeling of the properties of electron and phonon subsystems of silicon.....	54
A.A. Samokhin, A.E. Zubko. Acoustical monitoring modeling of metals ablation induced with intensity modulated nanosecond laser pulses.....	56
A.V. Shapranov, V.I. Mazhukin, M.M. Demin. The significance of the electrical double layer at the surface of metal during laser ablation.....	58
V.O. Podryga, S.V. Polyakov. Multiscale twolevel modeling of the binary gas mixture outflow to the vacuum.....	60
G.K. Borovin, V.V. Lapshin. About a motion of free-floating space robot.....	62
S.G. Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan. Isentropic 'shock waves' in numerical simulations of astrophysical flows.....	64
I. Molotov, V. Voropaev, G. Borovin, A. Yudin, D. Ivanov, M. Tereshina, E. Pavlova. Prototype of new ison telescope to improve the completeness and accuracy of the catalog of space objects.....	65
O.D. Toropina, S.G. Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan, V.S. Beliaev, A.P. Matafonov. MHD simulation of laboratory jets.....	66
L. Elenin, I. Molotov, T. Schildknecht. ISON asteroid survey program: current state and future prospects.....	67
E.V. Strashnov, M.V. Michaylyuk. Multibody dynamics simulation using impulses and articulated body method.....	68
M.A. Torgashev, D.A. Kononov. Simulation of jet engine dynamics in training complexes.....	70
A.V. Maltsev, P.Yu. Timokhin. Simulation of gravitation and wind influence on particle systems using high-performance gpu calculations.....	72
M.V. Mikhaylyuk, A.V. Maltsev. Control signal synthesis methods for robot management by using gestures.....	74
Žarko Pavićević. Fragments of the dynamics single disk and statics of the Riemannian sphere...	76
M.M. Krasnov, P.A. Kuchugov, M.E. Ladonkina, V.F. Tishkin. Application of discontinuous Galerkin method for modeling of aerodynamic problems on various parallel architectures.....	77
M.E. Ladonkina, O.A. Neklyudova, V.F. Tishkin. Construction of high order limiters for discontinuous Galerkin method.....	79
V.T. Zhukov, O.B. Feodoritova, N.D. Novikova. Adaptive algebraic multigrid method for three-dimensional diffusion equations.....	81
O.B. Feodoritova, N.D. Novikova, V.T. Zhukov. Numerical simulation of flow regimes in high-speed combustion chamber.....	83
Nikola Mihaljevich. Formation of the integral equations for the potential q and the function of delay a	85

B. Zekovich, V.A. Artamonov. Semisimple n-ary bialgebras and one-dimensional modules.....	86
Romeo Meštrović, Žarko Pavićević. Some approximation results in Privalov spaces on the unit disk.....	87
Nikola Konatar. Elements of stability and bifurcation theory and applications to the problem of synchronization of nonlinear oscillators	88
Djordjije Vujadinović. Spectral asymptotic of Cauchy's operator and logarithmic potential type operator on harmonic Bergman space on a simple connected domain.....	89
L.V. Klochkova, V.F. Tishkin. Mathematical simulation of the spread of infections in the environment.....	90
N.N. Bulgakova. Laser induced fluorescence of biological tissues in diagnostics of socially significant diseases.....	91
Emilija Nikolić, Tijana Brandmajer. Mathematical modeling application in integrative therapy within asthma patients.....	93
M.E. Zhukovskiy, S.V. Podoliako, A.A. Kryukov. The function reconstruction using the integral characteristics.....	94
T.S. Popova. Variational methods in the problem about thin elastic inclusion in a two-dimensional viscoelastic body.....	95
M.S. Grigoryeva, I.N. Zvestovskaya, A.P. Kanavin. Model of porosity reduction under the laser action on the metal surface.....	96
L.I. Galanina, L.S. Novikov. Simulation of radiation effects on materials and microelectronic components.....	97
Jela Šušić. Well posedness for a class of ultra-parabolic equations with discontinuous flux.....	98

PROGRAM

Saturday, June 3	
11.00-20.00	Registration, Check-in at Hotel
Sunday, June 4	
10.00-17.00	Registration, Check-in at Hotel
19.00	WELCOME PARTY

Monday, June 5	
9^{40} - 10^{15}	<p>Opening ceremony</p> <p>Prof. Dr. sc. Nat. V.I. Mazhukin, Chairman</p> <p>XVI Seminar. The goals and objectives of the Seminar</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p> <p><i>Photo for memory</i></p>
10^{15} - 10^{50}	<p>Plenary Presentation</p> <p>A.S. Boldarev¹, G.A. Bagdasarov¹, V.A. Gasilov¹, P.V. Sasorov¹, O.G. Olkhovskaiy¹, D.R. Khikhluha².</p> <p>Simulations of Plasma Dynamics and Laser-Plasma Processes in Capillary Discharges</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>ELI Beamlines, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic</i></p>
10^{50} - 11^{20}	<p>Plenary Presentation</p> <p>V.I. Mazhukin^{1,2}, P.V. Breslavskiy¹</p> <p>Dynamic adaptation in problems of gas dynamics</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>
11^{20} - 11^{40}	<i>Coffee break</i>
11^{40} - 12^{05}	<p>Invite Presentation</p> <p>A.A. Samokhin¹, V.I. Mazhukin², M.M. Demin², A.V. Shapranov², A.E. Zubko¹.</p> <p>Molecular dynamics modeling of nanosecond laser ablation: subcritical and transcritical regime</p> <p>¹<i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12^{05} - 12^{30}	<p>Invite Presentation</p> <p>V.P. Veiko, A. Samokhvalov, R. Zakoldaev, M. Sergeev</p> <p>The features of laser-induced μ-plasma (LμP) for transparent materials processing</p> <p><i>Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO), Saint Petersburg, Russia</i></p>

12 ³⁰ -12 ⁵⁵	<p>Invite Presentation A.G. Kaptilniy¹, A.A. Karabutov²</p> <p>Dynamic control of thermodynamic cycle of laser heating of metal with impedance border of irradiation</p> <p>¹<i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>International Laser Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Lunch time
14 ⁰⁰ -14 ¹⁵	<p>Oral Presentation B. I. Denker¹, B. I. Galagan¹, S. E. Sverchkov¹, V. V. Velmiskin²</p> <p>Fluorescent properties of tin containing glasses</p> <p>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>
14 ¹⁵ -14 ³⁰	<p>Oral Presentation L.I. Ivleva, E. Dunaeva</p> <p>Development of srmoo4:re single crystals doped with rare-earth ions for creation of solid state lasers for mid and ir spectral range</p> <p><i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
14 ³⁰ -14 ⁴⁵	<p>Oral Presentation N.S. Kozlova, G.A. Goreeva, M.B. Bykova, I.S. Didenko, E.V. Zabekina, A.P. Kozlova</p> <p>The role of reference Samples in obtaining reliable experimental results</p> <p><i>National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia</i></p>
14 ⁴⁵ -15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin.</p> <p>Simulation of the narrowing of band gap of silicon</p> <p><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> <i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ¹⁵	<p>Oral Presentation K.V. Khishchenko.</p> <p>Equation of state and phase transformations of silicon at high temperatures and pressures</p> <p><i>Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, Russia</i></p>

15 ¹⁵ -15 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">A.V. Berezin, M.B. Markov, I.A. Tarakanov, Y.A. Volkov.</p> <p style="text-align: center;">Conductivity current in silicon</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ³⁰ -16 ⁰⁰	<p><i>Coffee break</i></p>
16 ⁰⁰ -16 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">B.P. Rybakin</p> <p style="text-align: center;">Computer simulation of shock wave interaction with molecular clouds</p> <p style="text-align: center;"><i>FSC Scientific Research Institute for System Studies of RAS, Moscow, Russia</i></p>
16 ¹⁵ -16 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Berezin A.V., Voronin F.N., Gasilov V.A., Inozemtseva K.K., Markov M.B., Parotkin S.V.</p> <p style="text-align: center;">Fluid dynamic effects in high-energy electrons flux</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
16 ³⁰ -16 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.A. Egorova, M.E. Zhukovskiy, R.V. Uskov</p> <p style="text-align: center;">An approach to the radiation effects modeling by the application of the cascade correlation neural networks</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
16 ⁴⁵ -17 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">E.N. Bykovskaya</p> <p style="text-align: center;">Application of cabaret difference scheme to the method of dynamic adaptation on the example of burgers equation</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
17 ⁰⁰ -17 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin</p> <p style="text-align: center;">Modeling of the properties of electron and phonon subsystems of silicon</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> <i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>

17 ¹⁵ -17 ³⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">A.A. Samokhin, A.E. Zubko</p> <p style="text-align: center;">Acoustical monitoring modeling of metals ablation induced with intensity modulated nanosecond laser pulses</p> <p style="text-align: center;"><i>A.M.Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
17 ³⁰ -18 ⁰⁰	POSTER SECTION
17 ³⁰ -17 ³⁵	<p style="text-align: center;">M.S. Grigoryeva, I.N. Zvestovskaya, A.P. Kanavin</p> <p style="text-align: center;">Model of porosity reduction under the laser action on the metal surface</p> <p style="text-align: center;"><i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia</i> <i>P.N. Lebedev Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
17 ³⁵ -17 ⁴⁰	<p style="text-align: center;">L.I. Galanina, L.S. Novikov</p> <p style="text-align: center;">Simulation of radiation effects on materials and microelectronic components</p> <p style="text-align: center;"><i>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia</i></p>
17 ⁴⁰ -17 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Jela Šušić</p> <p style="text-align: center;">Well posedness for a class of ultra-parabolic equations with discontinuous flux</p> <p style="text-align: center;"><i>Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>

Tuesday, June 6	
$10^{00}-10^{25}$	<p style="text-align: center;">Invite Presentation</p> <p style="text-align: center;">M.P. Galanin, A.P. Lototsky, A.S. Rodin</p> <p style="text-align: center;">The task of high-speed loading of an aluminum strip simulation at large plastic deformations</p> <p style="text-align: center;"><i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS Moscow, Russia</i></p>
$10^{25}-10^{50}$	<p style="text-align: center;">Invite Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.I. Mazhukin^{1,2}, A.V. Shapranov^{1,2}, M.M. Demin¹</p> <p style="text-align: center;">Simulation of ns-laser explosive boiling of metal in approximation of continuum approach</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>
$10^{50}-11^{05}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">A.V. Shapranov^{1,2}, V.I. Mazhukin^{1,2}, M.M. Demin¹</p> <p style="text-align: center;">The significance of the electrical double layer at the surface of metal during laser ablation</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>
$11^{05}-11^{20}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">V.O. Podryga¹, S.V. Polyakov^{1,2}</p> <p style="text-align: center;">Multiscale twolevel modeling of the binary gas mixture outflow to the vacuum</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia</i></p>
$11^{20}-11^{45}$	Coffee break
RUSSIAN SPACE	
$11^{45}-12^{00}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">G.K. Borovin¹, V.V. Lapshin²</p> <p style="text-align: center;">About a motion of free-floating space robot</p> <p style="text-align: center;">¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> ²<i>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia</i></p>

12 ⁰⁰ -12 ¹⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>S.G. Moiseenko¹, G.S.Bisnovaty-Kogan^{1,2}</p> <p>Isentropic 'shock waves' in numerical simulations of astrophysical flows</p> <p>¹<i>Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p> <p>²<i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia</i></p>
12 ¹⁵ -12 ³⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>I. Molotov^{1,2}, V. Voropaev¹, G. Borovin¹, A. Yudin¹, D. Ivanov², M. Tereshina¹, E. Pavlova¹</p> <p>Prototype of new ison telescope to improve the completeness and accuracy of the catalog of space objects</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p> <p>²<i>Small innovation enterprise «KIAM Ballistics-Service», Moscow, Russia</i></p>
12 ³⁰ -12 ⁴⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>O.D. Toropina, S.G. Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan, V.S. Beliaev, A.P. Matafonov</p> <p>MHD simulation of laboratory jets</p> <p><i>Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia</i></p>
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>L. Elenin¹, I. Molotov¹, T. Schildknecht²</p> <p>ISON asteroid survey program: current state and future prospects</p> <p>¹<i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p> <p>²<i>Astronomical Institute University of Bern, Bern, Switzerland</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	<i>Lunch time</i>
14 ⁰⁰ -14 ¹⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>E.V. Strashnov, M.V. Michaylyuk</p> <p>Multibody dynamics simulation using impulses and articulated body method</p> <p><i>Scientific Research Institute of System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i></p>
14 ¹⁵ -14 ³⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>M.A. Torgashev, D.A. Kononov</p> <p>Simulation of jet engine dynamics in training complexes</p> <p><i>Scientific Research Institute of System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i></p>

14 ³⁰ -14 ⁴⁵	<p>Oral Presentation</p> <p>A.V. Maltsev, P.Yu. Timokhin</p> <p>Simulation of gravitation and wind influence on particle systems using high-performance gpu calculations</p> <p><i>Scientific Research Institute of System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i></p>
14 ⁴⁵ -15 ⁰⁰	<p>Oral Presentation</p> <p>M.V. Mikhaylyuk, A.V. Maltsev</p> <p>Control signal synthesis methods for robot management by using gestures</p> <p><i>Scientific Research Institute of System Analysis of RAS, Moscow, Russia</i></p>
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	<p><i>Coffee break</i></p>
15 ³⁰ -18 ⁰⁰	<p>THEMATIC HEADING "HISTORICAL RESEARCHES"</p> <p>ROUND-TABLE DISCUSSION</p>
15 ³⁰ -15 ⁵⁵	<p>Invite Presentation</p> <p>V.I. Mazhukin</p> <p>Methods of mathematical modeling in historical research</p> <p><i>Keldysh Institute for Applied Mathematics of RAS Moscow, Russia</i></p>

Wednesday, June 7	
8⁰⁰-20⁰⁰	SOCIAL PROGRAM

Thursday, June 8	
$10^{00}-10^{15}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Žarko Pavićević</p> <p style="text-align: center;">Fragments of the dynamics single disk and statics of the Riemannian sphere <i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;</i> <i>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia</i></p>
$10^{15}-10^{30}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation M.M. Krasnov¹, P.A. Kuchugov^{1,2}, M.E. Ladonkina^{1,2}, V.F. Tishkin^{1,2}</p> <p style="text-align: center;">Application of discontinuous Galerkin method for modeling of aerodynamic problems on various parallel architectures <i>¹Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> <i>²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk</i></p>
$10^{30}-10^{45}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation M.E. Ladonkina^{1,2}, O.A. Neklyudova¹, V.F. Tishkin^{1,2}</p> <p style="text-align: center;">Construction of high order limiters for discontinuous Galerkin method <i>¹Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i> <i>²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk</i></p>
$10^{45}-11^{00}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation V.T. Zhukov, O.B. Feodoritova, N.D. Novikova</p> <p style="text-align: center;">Adaptive algebraic multigrid method for three-dimensional diffusion equations <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
$11^{00}-11^{15}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation O.B. Feodoritova, N.D. Novikova, V.T. Zhukov</p> <p style="text-align: center;">Numerical simulation of flow regimes in high-speed combustion chamber <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i></p>
$11^{15}-11^{30}$	<p style="text-align: center;">Oral Presentation Nikola Mihaljevich</p> <p style="text-align: center;">Formation of the integral equations for the potential q and the function of delay <i>Maritime Faculty, University of Montenegro, Kotor, Montenegro</i></p>
$11^{30}-12^{00}$	Coffee break

12 ⁰⁰ -12 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">B. Zekovich¹, V.A. Artamonov²</p> <p style="text-align: center;">Semisimple n-ary bialgebras and one-dimensional modules</p> <p style="text-align: center;"><i>¹Faculty of Natural Science, Department of Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p> <p style="text-align: center;"><i>²Department of Algebra, Faculty of Mechanics and Mathematics, Moscow State University, Moscow, Russia</i></p>
12 ¹⁵ -12 ³⁰	<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;">Some approximation results in Privalov spaces on the unit disk</p> <p style="text-align: center;"><i>¹Maritime Faculty Kotor, University of Montenegro, Kotor, Montenegro</i></p> <p style="text-align: center;"><i>²University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p> <p style="text-align: center;"><i>³National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia</i></p>
12 ³⁰ -12 ⁴⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Nikola Konatar</p> <p style="text-align: center;">Elements of stability and bifurcation theory and applications to the problem of synchronization of nonlinear oscillators</p> <p style="text-align: center;"><i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Djordjije Vujadinović</p> <p style="text-align: center;">Spectral asymptotic of Cauchy's operator and logarithmic potential type operator on harmonic Bergman space on a simple connected domain</p> <p style="text-align: center;"><i>Faculty of Natural Science and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	<p><i>Lunch time</i></p>
14 ⁰⁰ -14 ¹⁵	<p style="text-align: center;">Oral Presentation</p> <p style="text-align: center;">Sanja Jancic Rasovic</p> <p style="text-align: center;">On some classes of hypernear-rings</p> <p style="text-align: center;"><i>Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i></p>

14 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	THEMATIC HEADING "SCIENCE LIFE" ROUND-TABLE DISCUSSION
14 ⁰⁰ -14 ²⁵	Invite Presentation M.M. Gorbunov-Posadov , M.P. Galanin, T.A. Polilova. The preparation and publication of scientific monographs in Russia <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i>
14 ²⁵ -14 ⁵⁰	Invite Presentation A.A. Samokhin Russian scientific community external and internal challenges <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i>
14 ⁵⁰ -15 ¹⁵	Invite Presentation V.I. Mazhukin About some features of scientometrics <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i>
15 ¹⁵ -15 ³⁵	<i>Coffee break</i>

Friday, June 9	
$10^{00}-10^{15}$	Oral Presentation L.V. Klochkova , V.F. Tishkin Mathematical simulation of the spread of infections in the environment <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i>
$10^{15}-10^{30}$	Oral Presentation N.N. Bulgakova Laser induced fluorescence of biological tissues in diagnostics of socially significant diseases <i>A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia</i>
$10^{30}-10^{45}$	Oral Presentation Emilija Nikolić , Tijana Brandmajer Mathematical modeling application in integrative therapy within asthma patients <i>Medicine Faculty Podgorica, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro</i>
$10^{45}-11^{00}$	Oral Presentation M.E. Zhukovskiy, S.V. Podoliako , A.A. Kryukov The function reconstruction using the integral characteristics <i>Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia</i>
$11^{00}-11^{15}$	Oral Presentation T.S. Popova Variational methods in the problem about thin elastic inclusion in a two-dimensional viscoelastic body <i>North-Eastern Federal University in Yakutsk, Yakutsk, Russia</i>
$11^{15}-11^{45}$	Coffee break
SUMMING. CLOSING of the XVI INTERNATIONAL SEMINAR	
13.00-14.00	Lunch time
BANQUET, CLOSING SPEECH	

	Saturday, June 10
	Departure

ABSTRACTS

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ И ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КАПИЛЛЯРНЫХ РАЗРЯДАХ

А. С. Болдарев¹, Г. А. Багдасаров¹, В. А. Гасилов¹, П. В. Сасоров¹, О. Г. Ольховская¹,
Д. Р. Хихлуха²

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

²*ELI Beamlines, Институт Физики Чешской Академии Наук, Прага, Чешская Республика*
boldar@imamod.ru

Ускорение заряженных частиц в кильватерной волне короткого лазерного импульса стало в последние годы одним из наиболее активно развивающихся направлений применения фемтосекундных лазеров. При этом возникает необходимость создания рабочей среды с правильным пространственным распределением плотности, которая обеспечивала бы самофокусировку и самоканалирование лазерного импульса на длинах, необходимых для достижения заданного ускорения частиц. Использование капиллярного разряда является одним из возможных решений этой задачи. Существует ряд проектов (BELLA в LBNL, ELI Beamlines в Праге и др.), связанных с кильватерным ускорением частиц в плазме капиллярного разряда. Недавние эксперименты [1, 2] продемонстрировали возможность ускорения электронов до энергий порядка 10 ГэВ на длине порядка 1 м.

Математическое моделирование используется на всех трех принципиальных стадиях эксперимента:

- заполнение капилляра рабочим газом (водородом);
- электрический разряд с целью обеспечения нужного профиля плотности в поперечном сечении;
- распространение лазерного импульса.

Моделирование процессов, происходящих на первых двух этапах (гидродинамика и магнитогиродинамика) проводится с помощью кода MARPLE [3, 4]. В результате получено распределение плотности рабочего вещества, исследовано влияние открытых концов капилляра и формы присоединенных к ним электродов, подтверждена применимость одномерной модели при исследовании процессов в сечениях далеких от концов, изучено (и признано незначительным) влияние формы поперечного сечения капилляра.

Также представлены новые результаты PIC моделирования взаимодействия лазерного импульса с рабочим веществом. Подтверждено образование оптического канала вдоль оси капилляра, сохраняющего устойчивость при небольших угловых отклонениях направления распространения лазерного импульса относительно оси капилляра.

Литература:

1. W. P. Leemans et al., Phys. Rev. Lett., **113**, 245002 (2014).
2. X. Wang et al., Nature Comm, **4**, 1988 (2013).
3. В. А. Гасилов и др., Математическое моделирование, **24**, 55-87 (2012).
4. V. Gasilov et al., IOS Press: Advances in Parallel Computing, **22**, 235-242 (2012).

ДИНАМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ В ПРОБЛЕМАХ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

В.И. Мажукин^{1,2}, П.В. Бреславский¹

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

²Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

На ряде модельных и тестовых задач демонстрируются возможности метода динамической адаптации для 1-D газодинамических проблем. В основу метода положена идея перехода к произвольной нестационарной системе координат [1]. Метод позволяет на сетках с управляемым распределением узлов производить расчеты течений с произвольным числом и явным выделением разрывов (рис.1) - ударных волн, контактных и межфазных границ [2,3].

Эффективность метода оценивается сравнением с расчетами на сетках с фиксированными узлами.

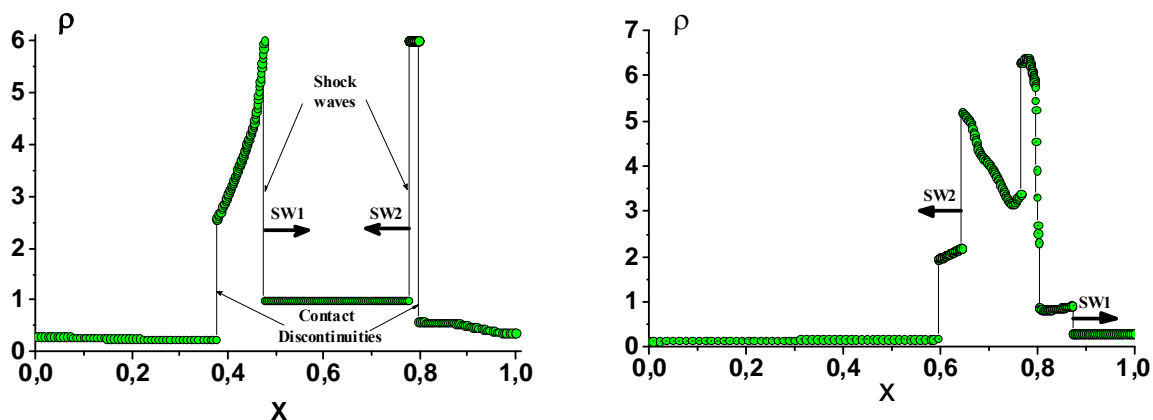


Рис.1. Взаимодействие двух ударных волн; слева - перед столкновением, справа - сразу после.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты №№ 16-07-00263, 15-07-05025.

Литература:

1. Mazhukin V.I., Demin M.M., Shapranov A.V., Smurov I., “The method of construction dynamically adapting grids for problems of unstable laminar combustion”, Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, 44 (4), 387 - 415 (2003).
2. Breslavsky P.V., Mazhukin V.I., “Dynamically Adapted Grids for Interacting Discontinuous Solutions”, Computational Mathematics and Mathematical Physics, 47 (4), 687 – 706 (2007).
3. Mazhukin A.V., Mazhukin V.I., Demin M.M., “Modeling of femtosecond ablation of aluminum film with single laser pulses”, Applied Surface Science, 257, 5443–5446 (2011).

DYNAMIC ADAPTATION IN PROBLEMS OF GAS DYNAMICS

V.I. Mazhukin^{1,2}, P.V. Breslavskiy¹

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

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

A number of model and test problems demonstrate the capabilities of the dynamic adaptation method for 1-D gas-dynamic problems. The method is based on the idea of transition to an arbitrary nonstationary coordinate system [1]. The method makes it possible to calculate flows with an arbitrary number and explicit allocation of discontinuities (Fig.1) - shock-waves, contact and interphase boundaries on grids with a controlled distribution of nodes [2,3].

The efficiency of the method is estimated by comparison with calculations on grids with fixed nodes.

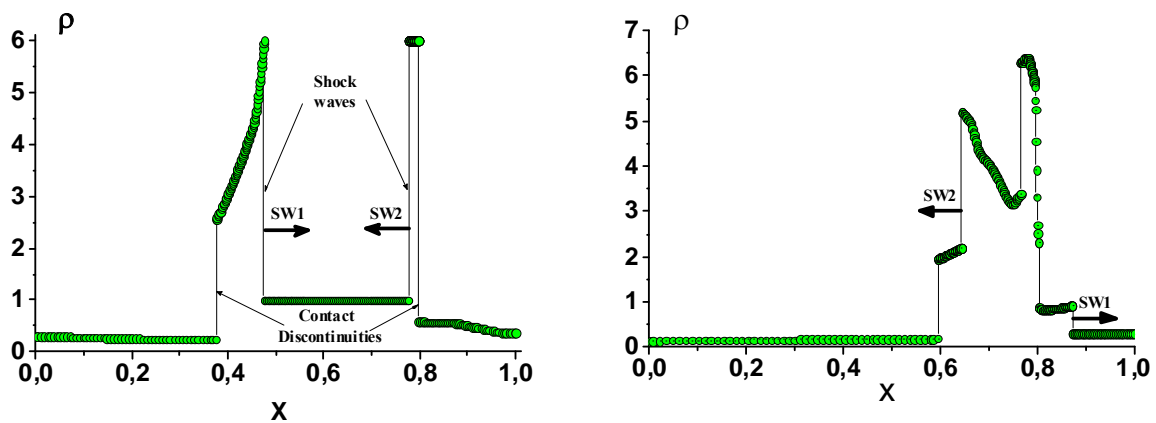


Fig. 1. Interaction of two shock waves; on the left - before the collision, on right - after him.

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the RFBR projects Nos. 16-07-00263, 15-07-05025.

References:

1. Mazhukin V.I., Demin M.M., Shapranov A.V., Smurov I., "The method of construction dynamically adapting grids for problems of unstable laminar combustion", Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, 44 (4), 387 - 415 (2003).
2. Breslavsky P.V., Mazhukin V.I., "Dynamically Adapted Grids for Interacting Discontinuous Solutions", Computational Mathematics and Mathematical Physics, 47 (4), 687 - 706 (2007).
3. Mazhukin A.V., Mazhukin V.I., Demin M.M., "Modeling of femtosecond ablation of aluminum film with single laser pulses", Applied Surface Science, 257, 5443-5446 (2011).

**MOLECULAR DYNAMICS MODELING OF NANOSECOND LASER ABLATION:
SUBCRITICAL AND TRANSCRITICAL REGIME**

A.A. Samokhin¹, V.I. Mazhukin^{2,3}, M.M. Demin², A.V. Shapranov^{2,3}, A.E. Zubko¹

¹ *Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Vavilov Str., 38, Moscow, Russia*

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

³ *National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe shosse, 31, Moscow, Russia*

E-mail: asam40@mail.ru

Molecular dynamic modeling is widely used for analysis of laser ablation. However nanosecond regime is not sufficiently investigated yet. Recent modeling of nanosecond laser ablation [1,2] permits for the first time to obtain new important details of recoil pressure and irradiated surface temperature behavior during the laser pulse action as it is shown in fig. 1.

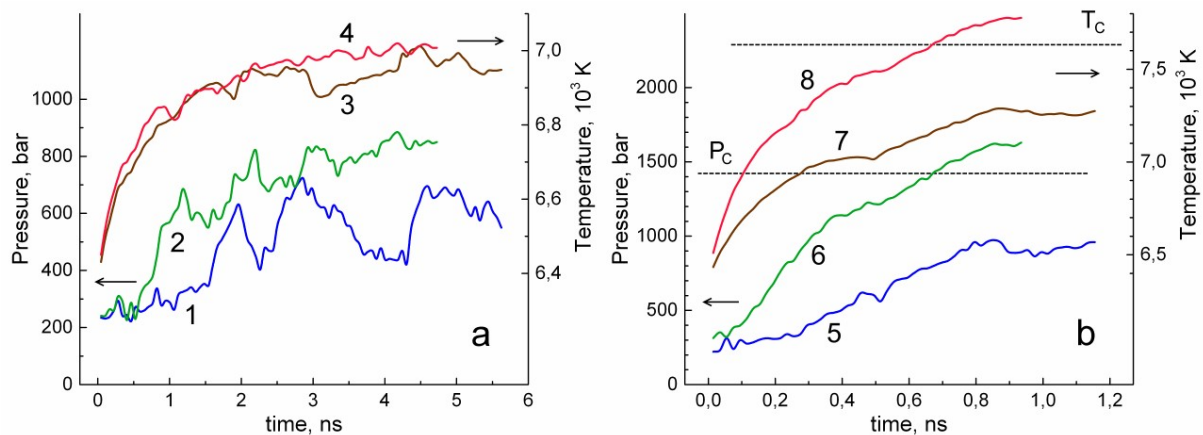


Fig. 1. Pressure (curves 1,2,5,6) and temperature (curves 3,4,7,8) behavior at the irradiated surface of liquid Al at different constant radiation intensity $I = 33$ (cur. 1,3); 44 (cur. 2,4); 66 (cur. 5,7); 110 (cur. 6,8) MW/cm². In (b) P_c , T_c are critical pressure and temperature values for the considered metal model. $T = 6400$ K at $t = 0$ ns.

Curves 1,2 show pressure jumps during explosive boiling due to subsurface temperature maximum as it was supposed in [3]. This behavior differs from the picture described in ref. [4,5]. It is clear also from cur. 3,4 that the pressure jumps at sufficiently high radiation intensity disappear already in subcritical regime where spinodal decomposition develops.

Acknowledgements. The work was supported by the RFBR projects Nos. 16-07-00263, 15-07-05025.

References:

1. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, M.M. Demin, A.A. Samokhin, A.E. Zubko, “Molecular dynamics modelling of nanosecond laser ablation: subcritical regime”, *Math. Montis.*, 37, 24–42 (2016)
2. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, M.M. Demin, A.A. Samokhin, A.E. Zubko, “Molecular dynamics modelling of nanosecond laser ablation: transcritical regime”, *Math. Montis.*, 38, (2017)
3. A.A. Samokhin, “Some aspects of the intense evaporation of condensed media by laser radiation” *Sov. J. Quantum Electron.*, 4(9), 1144–1145 (1975)
4. A. Miotello and R. Kelly, “Critical assessment of thermal models for laser sputtering at high fluences”, *Appl. Phys. Lett.*, 67(24), 3535–3537 (1995)
5. M.Q. Jiang, Y.P. Wei, G. Wilde, L.H. Dai, “Explosive boiling of a metallic glass superheated by nanosecond pulse laser ablation”, *Appl. Phys. Lett.*, 106, 021904 (2015)

МОЛЕКУЛЯРНО ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ: ДОКРИТИЧЕСКИЙ И ТРАНСКРИТИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ

А.А. Самохин¹, В.И. Мажукин^{2,3}, М.М. Демин², А.В. Шапранов^{2,3}, А.Е. Зубко¹

¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, 38, Москва

² Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл., 4, Москва

³ Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Каширское ш., 31, Москва
E-mail: asam40@mail.ru

Молекулярно-динамическое моделирование широко используется для анализа лазерной абляции, однако наносекундный режим исследован пока еще не полностью. Недавнее моделирование наносекундной абляции Al [1,2] позволяет впервые получить новую важную информацию о поведении давления отдачи и температуры облучаемой поверхности во время действия лазерного импульса, как это показано на рис. 1.

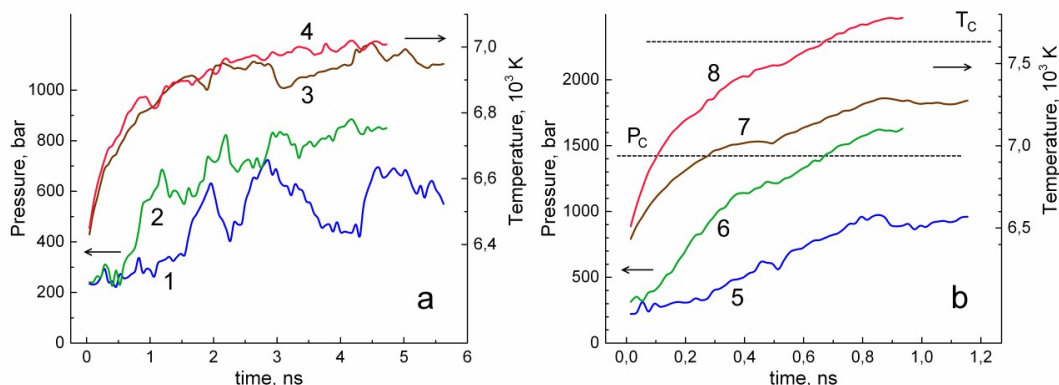


Рис. 1. Поведение давления (кривые 1,2,5,6) и температуры (кривые 3,4,7,8) на облучаемой поверхности жидкого Al при различной постоянной интенсивности $I = 33$ (кр. 1,3); 44 (кр. 2,4); 66 (кр. 5,7); 110 (кр. 6,8) MW/cm^2 . P_c , T_c – критическое давление и температура (b). $T = 6400$ K при $t = 0$ ns.

Кривые 1,2 показывают скачки давления при взрывном вскипании, обусловленном подповерхностным температурным максимумом, как это предполагалось в [3] в отличие от [4,5]. Из кривых 3,4 видно также, что скачки давления практически исчезают уже в докритическом режиме при переходе к спиноподобному распаду.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00263, 15-07-05025).

References:

1. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, M.M. Demin, A.A. Samokhin, A.E. Zubko, "Molecular dynamics modelling of nanosecond laser ablation: subcritical regime", *Math. Montis.*, 37, 24–42 (2016)
2. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, M.M. Demin, A.A. Samokhin, A.E. Zubko, "Molecular dynamics modelling of nanosecond laser ablation: transcritical regime", *Math. Montis.*, 38, (2017)
3. А.А. Самохин, "О некоторых особенностях развитого испарения конденсированных сред лазерным излучением" *Квант. электрон.*, 1(9), 2056–2059 (1974)
4. A. Miotello and R. Kelly, "Critical assessment of thermal models for laser sputtering at high fluences", *Appl. Phys. Lett.*, 67(24), 3535–3537 (1995)
5. M.Q. Jiang, Y.P. Wei, G. Wilde, L.H. Dai, "Explosive boiling of a metallic glass superheated by nanosecond pulse laser ablation", *Appl. Phys. Lett.*, 106, 021904 (2015)

The features of laser-induced μ -plasma (L μ P) for transparent materials processing

V. Veiko*, A. Samokhvalov, R. Zakoldaev, M. Sergeev

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

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

Laser microplasma induced at the interface of glass and absorbing target has off great interest nowadays [1, 2]. The research with the special mode of these methods was carried out and titled by us as laser-induced microplasma (LI μ P), where the highly absorbing plate (HAP) is placed in the direct contact with the transparent material (TM) (Fig. 1 a), which has to be processed. To investigate the mechanism of LI μ P method, we utilized photoacoustic methods. As a result, the ablation pressure (in case of graphite target covered by glass) raised by 5 times in comparison with the ablation at normal atmosphere.

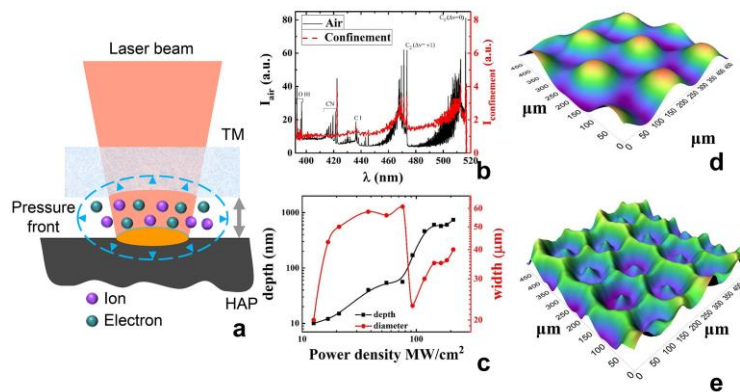


Fig.1. LI μ P method: schematic view (a), the depth of the crater in transparent dielectric at different power density (b), emission spectra of laser plasma (c); formed optical elements: microlens array (d) and periodical microstructure with a complex form (e).

The depth of the crater have a threshold dependence on the laser power density, the depth of the crater in transparent dielectric increases linearly in the range before 70 MW/cm², but at 100 MW/cm² dependence demonstrate a leap (Fig. 1 c). That is quite good correlate with the photoacoustical signal dependence on the power density. Laser-induced μ -plasma method described here gives opportunities for fast and cost-effective microoptical components fabrication on glass surface (microlens array, phase plates or gratings) (Fig. 1 d, e) [3].

Acknowledgements: The reported study was financially supported by the Ministry of Education and Science of Russia, research agreement №14.578.21.0197 (RFMEFI57816X0197).

References:

1. I.V. Blonsky, et al., Influence of the transverse dimension of the torch laser-induced plasma in the material handling processes, *Technical Physics*, vol. 75(3), pp. 74-80, (2005) - in Russian.
2. Hopp, B., et al., Production of submicrometre fused silica gratings using laser-induced backside dry etching technique, *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 39(22), pp. 4843-4847 (2006).
3. G.K. Kostyuk, et al., Laser-induced glass surface structuring by LIBBH technology, *Optical and Quantum Electronics*, vol. 48(4), pp. 1-8, (2016).

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПЕДАНСНОЙ ГРАНИЦЕ ОБЛУЧЕНИЯ

Капильный А.Г.¹

Карабутов А.А.²

¹ *Объединенный Институт Высоких Температур РАН, Москва, Россия*

e-mail Kalexandr48@gmail.com

² *Международный Лазерный Центр МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

e-mail aak@optoacoustic.ru

Одним из основных факторов, определяющих взаимодействие лазерного излучения с веществом является способ сопряжения поверхности, поглощающей энергию лазерного импульса с внешней средой. Предложен метод управления термодинамическим циклом «нагрева – охлаждения (разгрузки)», реализуемый при воздействии на вещество мощного импульса лазерного излучения на импедансную границу облучаемого вещества, т.е. поверхность, механически нагруженную слоем диэлектрика прозрачного для излучения лазера.

На «восходящей ветви нагрева» термодинамического цикла термализация энергии лазерного импульса сопровождается генерацией высокого уровня динамического давления в тонкой приповерхностной зоне. Процесс нагрева облучаемого вещества происходит в квазиизохорных условиях. В случае поверхностного характера поглощения (металлы) импульс давления распространяется из области нагрева в виде двух мощных акустических (ударных) волн. Одна волна уходит в глубину металла, поглощающего излучение, другая - в слой диэлектрика – прозрачной конденсированной среды, нагружающей облучаемую поверхность. Эта волна при её отражении от внешней поверхности диэлектрика меняет фазу на 180^0 и возвращается в зону нагрева в виде волны «отрицательного» давления – волны разгрузки формируя «нисходящую ветвь термодинамического цикла». Управление процессом разгрузки - амплитуда волны разгрузки определяется соотношением физических свойств поглощающего вещества (металла) и диэлектрика - отношением их акустических импедансов, а время начала разгрузки определяется удвоенным временем пробега ударной волны по толщине слоя диэлектрика, т.е. процесс разгрузки определяется толщиной этого слоя диэлектрика и его физическими свойствами. Акустический импеданс представляет собой произведение " ρc " плотности вещества " ρ " на скорость звука в веществе " c ". В качестве прозрачной среды может использоваться сапфир, стекло, жидкость, полимерная пленка, прозрачная среда может быть многослойной и т.п.

При этом в случае резкого сброса давления - разгрузке в области нагрева, существует возможность развития событий по двум близким сценариям: 1) если термодинамические параметры тонкого разогретого приповерхностного слоя оказываются в метастабильной области - происходит фазовый взрыв. 2) - если в области абсолютной термодинамической неустойчивости – спинодальный распад.

**DYNAMIC CONTROL OF THERMODYNAMIC CYCLE OF LASER HEATING OF
METAL WITH IMPEDANCE BORDER OF IRRADIATION**

A.G. Kaptilniy^(a),

^(a) Joint Institute for High Temperatures,
Russian Academy of Science, Moscow, Russia
Kalexandr48@gmail.com

A.A. Karabutov^(b)

^(b) International Laser Center, Moscow State University, Moscow, Russia
aak@optoacoustic.ru

One of the main factors that determinates interaction of laser irradiation and matter, is the way of interfacing of surface that absorbs the energy of laser pulse with environment.

We propose the method that controls the "heating – cooling" thermodynamic cycle. This cycle is realized when the matter is irradiated by a powerful laser pulse through a layer of dielectric. The dielectric is placed on the surface of metal.

Absorption of laser pulse energy is accompanied by generation of high level of dynamic pressure in thin surface zone. Heating process of irradiated matter is realized in quasiisochoric conditions. In this case the pulse of pressure, as two shock waves, extends from the heating area to the dielectric layer and the metal depth. One shock wave reflects from free surface of dielectric and reverses the phase (-180°) and returns to the heating zone as unloading wave.

Control of unloading process is determined by correlation of physical properties of absorbing matter and dielectric – correlation of their acoustic impedance. The beginning of unloading time is determined by double time of shock wave run in dielectric. Unloading process is determined by layer thickness and their physical properties. Acoustic impedance " ρc " is the result of multiplication of density " ρ " and velocity of sound " c ". Dielectric may be represented by sapphire, glass, polymeric film, etc. and it may be multi-layer. When the pressure unloads short, there are two variants of realization:

- 1) Phase explosion in metastable area or
- 2) Spinodal decomposition in the area of absolute thermodynamic instability

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАГРУЖЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ЛЕНТЫ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

М.П. Галанин, А.П. Лотоцкий, А.С. Родин
ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4
galan@keldysh.ru

Предложен метод численного моделирования движения плоского лайнера в магнитном компрессоре, основанный на комбинации поперечной и продольной двумерных моделей. Метод позволяет моделировать взаимодействие ленты лайнера с твердой опорой при кинематических характеристиках лайнера, близких к экспериментальным. Для обоснования выбора математической модели упругопластического тела, подходящей для решения подобных задач, рассмотрено три различных модели. Проведена серия расчетов, выполнен анализ полученных результатов и применимости каждой модели.

Подробности работы приведены в [1].

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

Литература.

1. 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, 2, 66 - 79 (2017)

МОДЕЛИРОВАНИЕ NS-ЛАЗЕРНОГО ВЗРЫВНОГО ВСКИПАНИЯ МЕТАЛЛА В ПРИБЛИЖЕНИИ КОНТИНУАЛЬНОГО ПОДХОДА

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

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

²Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

В рамках единой гидродинамической модели описываются процессы лазерного нагрева, плавления и поверхностного испарения Al мишени в среду с противодавлением. В приповерхностной области жидкого металла под воздействием поверхностного испарения и объемного выделения энергии ns-лазерного импульса формируется температурный максимум, в котором в околоскритической области происходит гомогенный фазовый переход – взрывное вскипание. Моделирование динамики фазового взрыва, в рамках континуальной модели, осуществляется введением в точке максимума температуры квазизародышей новой фазы [1]. Результаты континуального моделирования сравниваются с результатами молекулярно-динамических расчетов [2,3] (рис.1-2).

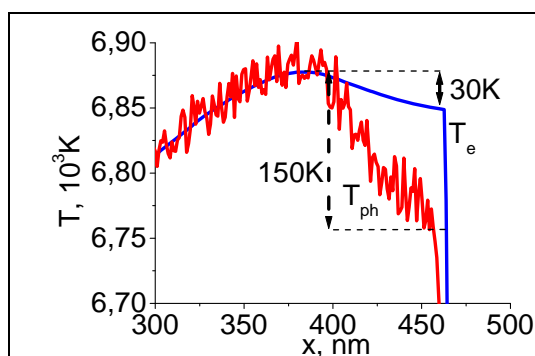


Рис 1. Молекулярно-динамические расчеты.

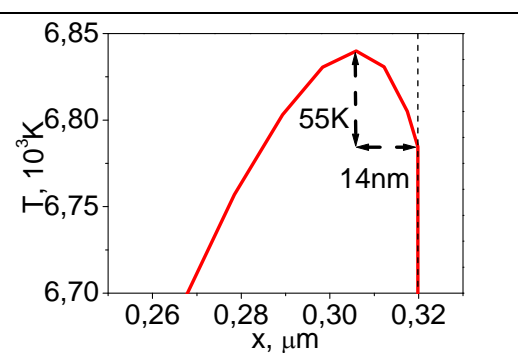


Fig 2. Calculation by continuum model.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты №№ 16-07-00263, 15-07-05025.

Литература:

1. Mazhukin V.I., Demin M.M., Shapranov A.V., “High-speed laser ablation of metal with pico- and subpicosecond pulses”, Appl. Surf. Sci., 302, 6–10 (2014).
2. V.I. Mazhukin, A.A. Samokhin, M.M. Demin, A.V. Shapranov. “Explosive boiling of metals upon irradiation by a nanosecond laser pulse”, Quantum Electronics, 44 (4), 283 – 285 (2014).
3. V I Mazhukin, A A Samokhin, A V Shapranov, M M Demin. “Modeling of thinfilm explosive boiling—surface evaporation and electron thermal conductivity effect”, Mater. Res. Express, 2, 016402 (1-9) (2015).

SIMULATION OF NS-LASER EXPLOSIVE BOILING OF METAL IN APPROXIMATION OF CONTINUUM APPROACH

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

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

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

In the framework of a single hydrodynamic model were described the processes of laser heating, melting, and surface evaporation of Al target in a medium with backpressure. In the near-surface region of a liquid metal under the influence of surface evaporation and volumetric energy release of ns-laser pulse, a temperature maximum is formed in which a homogeneous phase transition - explosive boiling occurs in the near-critical subdomain. Simulation of the dynamics of a phase explosion, within the continuum model, is carried out by introducing a new phase nuclei at the point of maximum of the temperature [1]. The results of the continuum simulation are compared with the results of molecular dynamics calculations [2,3] (Fig.1-2).

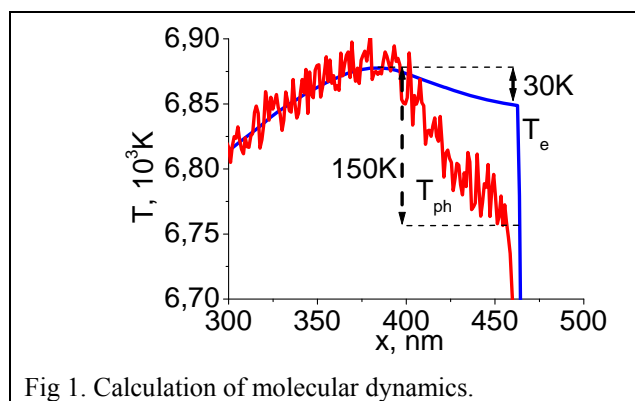


Fig 1. Calculation of molecular dynamics.

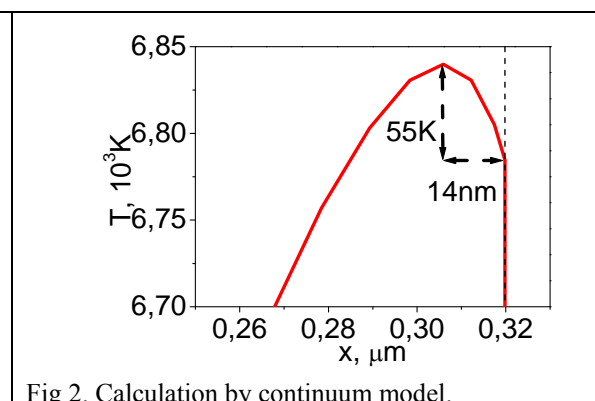


Fig 2. Calculation by continuum model.

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the RFBR projects Nos. 16-07-00263, 15-07-05025.

References:

1. Mazhukin V.I., Demin M.M., Shapranov A.V., "High-speed laser ablation of metal with pico- and subpicosecond pulses", *Appl. Surf. Sci.*, 302, 6–10 (2014).
2. V.I. Mazhukin, A.A. Samokhin, M.M. Demin, A.V. Shapranov. "Explosive boiling of metals upon irradiation by a nanosecond laser pulse", *Quantum Electronics*, 44 (4), 283 – 285 (2014).
3. V I Mazhukin, A A Samokhin, A V Shapranov, M M Demin. "Modeling of thinfilm explosive boiling—surface evaporation and electron thermal conductivity effect", *Mater. Res. Express*, 2, 016402 (1-9) (2015).

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИСТОРИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

В.И. Мажукин

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия*

Рассматриваются подходы к построению математических моделей в исследованиях исторических периодов различной длительности.

METHODS OF MATHEMATICAL MODELING IN HISTORICAL RESEARCH

V.I. Mazhukin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia*

Approaches to the construction of mathematical models in studies of historical periods of different duration are considered.

ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ИЗДАНИЯ НАУЧНОЙ МОНОГРАФИИ В РОССИИ

М.М.Горбунов-Посадов, М.П.Галанин, Т.А.Полилова

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

Согласно ГОСТ 7.60-2003 [1], монографией является "научное или научно-популярное издание, содержащее полное и всестороннее исследование одной проблемы или темы и принадлежащее одному или нескольким авторам". Издание монографии — закономерная заключительная фаза практически любого успешного крупного научного исследования. Спокон веку монография считалась наиболее весомой публикацией, авторы монографий неизменно пользовались в нашей стране заслуженным всеобщим уважением.

Однако в России в начале 1990-х годов отношение к монографии меняется в силу открывшейся возможности издать за деньги любую книгу вне зависимости от ее содержания. Тут же объявились графоманы, поспешившие прославиться, получить почетный статус автора научной монографии, бесконтрольно издав свои никчемные труды. На эти обстоятельства быстро отреагировали чиновники от науки, огульно исключившие любые объемные научные публикации из числа формальных показателей, свидетельствующих о вкладе ученого в науку. Как ни странно, вслед за чиновниками понемногу изменило свое отношение к монографии и научное сообщество, сместив в неформальном рейтинге научных публикаций монографию на второе место и поставив на освободившееся почетное первое место научную статью.

Разумеется, соревнование за первое место между статьей и монографией лишено смысла, науке жизненно необходимы оба жанра. В то же время из-за упомянутых конъюнктурных обстоятельств монография оказалась несколько в тени. По сравнению с автором статьи, со всех сторон получающим разнообразные стимулы и поддержку, автор монографии сейчас нередко испытывает определенные организационные затруднения. В настоящем сообщении мы постараемся рассказать, как преодолеть эти затруднения, какие существуют способы публикации научной монографии и как лучше донести содержание монографии до читателя.

Обсуждаются проблемы

- объема и тиража, выбора типографии или издательства,
- получения индексов ISBN, DOI, ORCID, РИНЦ и др.,
- сосуществования печатного и онлайн-издания монографии,
- исправления и обновления текста вышедшей монографии,
- организации рецензирования книги в различных издательствах и организациях.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-01-00158 А.

Литература:

1. ГОСТ 7.60-2003 "Издания. Основные виды. Термины и определения"
2. М.М.Горбунов-Посадов. Интернет-активность как обязанность ученого — [б. м.]: Издательские решения, 2017. — 64 с. — doi:10.20948/ridero-2017-gorbunov

**RUSSIAN SCIENTIFIC COMMUNITY
EXTERNAL AND INTERNAL CHALLENGES**

A.A. Samokhin

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

Problems of Russian scientific community and its various structures (Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences Employees’ Trade Union and others) are discussed. Some aspects of the problems were considered recently in the article [1].

References:

1. A.A. Samokhin, “Scientific community: external and internal challenges”, Scientific community, 2(186), 16–17 (2017): <http://ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=4c7c1129-2651-489a-831e-09a63eef571d>

**РОССИЙСКОЕ НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО
ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВЫЗОВЫ**

А.А. Самохин

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, 38, Москва, Россия
E-mail: asam@mail.ru*

Обсуждаются проблемы Российского научного сообщества и его различных структур (Российская Академия Наук, Профсоюз Работников РАН и других). Некоторые аспекты этих проблем рассматриваются также в недавней публикации [1].

References:

1. А.А. Самохин, “Научное сообщество: внешние и внутренние вызовы”, Научное сообщество, 2(186), 16–17 (2017): <http://ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=4c7c1129-2651-489a-831e-09a63eef571d>

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАУКОМЕТРИИ

В.И. Мажукин

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия*

Как известно, наукометрия это дисциплина, направленная на изучение развития науки. Изучающие используют многочисленные измерения такие как количество монографий, диссертаций, научных статей и т.д. Данные измерений подвергаются статистической обработке. В настоящее время результаты, полученные в виде индексов цитируемости, Хирша, импакт-факторов научных журналов и т.д., положены в основу финансовой поддержки институтов, лабораторий и отдельных групп исследователей.

В докладе рассматриваются недостатки существующих критериев оценки научной деятельности и обсуждаются возможности усиления объективности и повышения универсальности использования наукометрических показателей.

ABOUT SOME FEATURES OF SCIENTOMETRICS

V.I. Mazhukin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia*

As is known, scientometry is a discipline aimed at studying the development of science. Students use numerous measurements such as the number of monographs, dissertations, scientific articles, etc. The measurement data are subjected to statistical processing. Currently, the results obtained in the form of citation indexes, Hirsch, impact factors of scientific journals, etc., are the basis for financial support for institutions, laboratories and individual groups of researchers.

The report considers the shortcomings of the existing criteria for assessing scientific activity and discusses the possibilities of enhancing the objectivity and increasing the universality of the use of science metrics.

FLUORESCENT PROPERTIES OF TIN CONTAINING GLASSES.

B. I. Denker¹, B. I. Galagan¹, S. E. Sverchkov¹, V. V. Velmiskin²,

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

²Fiber Optics Research Center of RAS, Vavilov str.38, 119991, Moscow, Russia

Our recent paper [1] described the wideband infrared photoluminescence in divalent tin-containing silicate glass. Its relatively long ($\sim 100 \mu\text{s}$) lifetime and good overlapping of its excitation spectra with the wavelengths of common laser diodes have made it a new promising material for tunable fiber lasers and amplifiers. Nevertheless, SnO-SiO₂ glass system is very difficult from technological point of view. The main difficulty of the glass synthesis is the partial disproportionation of SnO into SnO₂ and metallic tin, both insoluble in the glass melt. We have tried to overcome this difficulty by total or partial substitution of SiO₂ by GeO₂ as a more fusible oxide. Starting from SnO-GeO₂ mixture, a set of glass samples with SnO content variable from 0% to 40% mol. was prepared in alumina and silica crucibles. In contrast to tin-silicate glasses, all the tin-germanate ones showed no traces of tin disproportionation: the glasses had no metal tin or SnO₂ inclusions.

All the tin-germanate glass samples showed photoluminescent properties resembling those of tin-silicate glasses, but with certain differences. The emission band of tin-germanate glasses (when excited at 950 nm) was peaking at 1.6 μm , while tin-silicate glass emission peaks at 1.5 μm , see **Fig.1**. The e-fold emission decay lifetimes of tin-germanate glasses varied from 150 for the glass with 40%mol SnO to 450 μs for the glass with 5%mol SnO, see **Fig.2**).

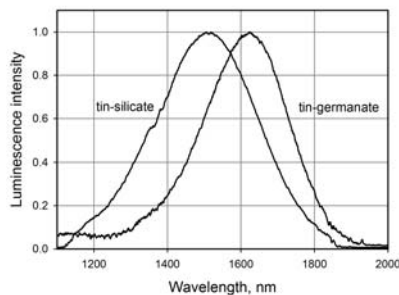


Fig.1. Luminescence spectra of glass samples excited at 950 nm

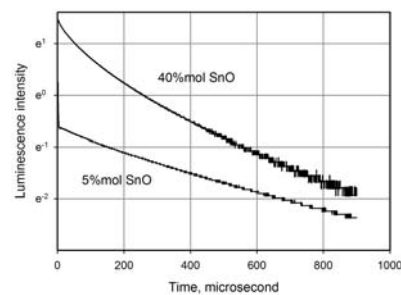


Fig.2. Luminescence decay of the tin-germanate glasses excited by OPO pulse at 950 nm

It is interesting to note, that the samples prepared in silica glass crucibles contained large amounts (tens of percent) of SiO₂, but were free of SnO₂ or metal Sn inclusions typical for tin-silicate glasses. We have tried to use this opportunity to prepare a clear SnO and SiO₂ containing glass and to develop an original way of manufacturing an optical fiber with divalent tin-containing core. In the first stage the SnO-GeO₂ charge was placed in the Heraeus Suprasil F300 silica tube tightly sealed from one end. The tube was filled with ultra-pure argon and passed through a hot zone of the drawing tower. In this process the molten charge and the support tube formed respectively the core and the cladding of fiber preform. In the second stage, the preform was jacketed with another F300 tube. The multimode optical fiber with polymer protection coating was drawn from the fabricated preform at 1820 °C. Its outer diameter was 120 μm and the core diameter - 10 μm .

Due to strong mutual diffusion of the core and cladding components the concentrations of tin and germanium in the fiber core were much less than those in the charge. The silicon content even in the core center was about 20 times higher than that of germanium.

Acknowledgements: The work is supported by RFBR grant 17-02-00368.

References

1. B. I. Denker, B. I. Galagan, L. D. Iskhakova, S. E. Sverchkov and E. M. Dianov, "Infrared luminescent properties of tin-silicate oxide glass," *Appl. Phys. B* **120**, 13 (2015)

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ОЛОВСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ

Б.И.Денкер¹, Б.И.Галаган¹, С.Е.Сверчков¹, В.В.Вельмискин²

¹Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН, ул.Вавилова 38, 119991, Москва, Россия

²Научный центр волоконной оптики РАН, ул.Вавилова 38, 119991, Москва, Россия

В нашей недавней работе [1] была обнаружена широкополосая ик люминесценция (~1.5 мкм) в оловосодержащих силикатных стеклах. Хорошее перекрытие спектра возбуждения этой люминесценции с длинами волн излучения доступных диодных лазеров и ее относительно большое время жизни (~100мкс) позволяет рассматривать эти стекла как новый перспективный активный материал для перестраиваемых лазеров и усилителей. Однако очевидным недостатком стеклянной системы SnO-SiO₂ является частичная диспропорционированность SnO в SnO₂ и металлическое олово в расплаве стекла в процессе синтеза. В настоящей работе мы попытались преодолеть эту проблему путем частичного или полного замещения SiO₂ на более легкоплавкий окисел GeO₂. В корундовых и кварцевых тиглях в системах SnO-GeO₂ и SnO-GeO₂-SiO₂ была синтезирована концентрационная серия стекол с различным содержанием SnO и SiO₂. Полученные образцы не имели следов включений металлического олова или SnO₂ и обладали люминесцентными свойствами подобными тем, которые ранее были обнаружены в [1]. Разница состояла в том, что максимум их пика люминесценции был смещен в более длинноволновую область (~1.6 мкм) (см. Рис 1) и люминесценция имела большее время жизни, которое зависело от концентрации SnO. Например, в образцах с содержанием 40%mol SnO оно равнялось 150 мкс, а в образцах с содержанием 5%mol SnO - 450 мкс.

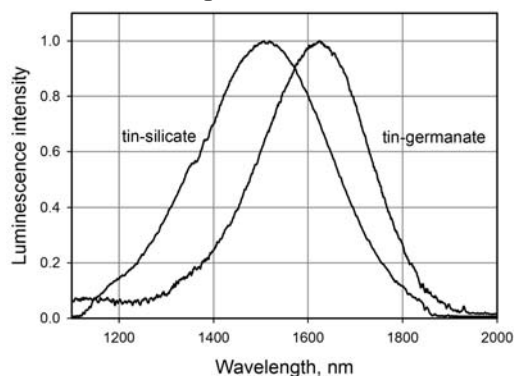


Рис.1.Спектры люминесценции стекол при возбуждении 950 nm

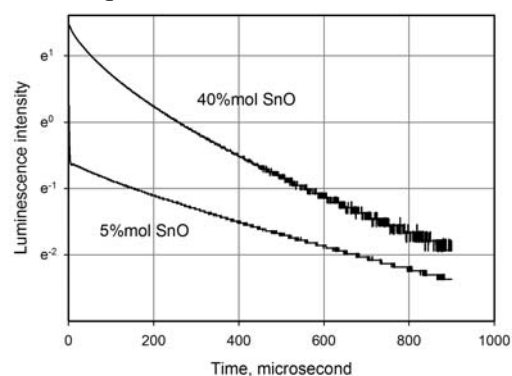


Рис.2 Кинетики затухания люминесценции оловосодержащих германатных стекол при возбуждении 950 nm

По технологии "powder in tube" (powder - SnO-GeO₂, tube - Heraeus Suprasil F300 silica tube) были изготовлены многомодовые оптические волокна с внешнем диаметром 120 мкм и сердцевиной 10 мкм. Из-за сильной взаимной диффузии компонент сердцевины и оболочки во время технологического процесса, содержание олова и германия в сердцевине готового волокна оказалось значительно меньше изначального и более того содержание кремния в сердцевине превысило содержание германия.

Благодарность: Работа поддерживается грантом РФФИ 17-02-00368.

Литература.

1. B. I. Denker, B. I. Galagan, L. D. Iskhakova, S. E. Sverchkov and E. M. Dianov, "Infrared luminescent properties of tin-silicate oxide glass," Appl. Phys. B **120**, 13 (2015)

ПОЛУЧЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ SrMoO₄, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ, ДЛЯ СОЗДАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ БЛИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНОВ

Ивлева Л.И., Дунаева Е.Э.

Институт общей физики РАН им.А.М.Прохорова, Москва 119991, ул Вавилова 38

ivleva@lst.gpi.ru

Создание новых многофункциональных лазерно-рамановских сред, позволяющих генерировать мощное когерентное излучение на новых длинах волн в среднем ИК (1.5-5 мкм) спектральном диапазоне и осуществлять дискретную перестройку частоты излучения, является актуальной задачей, поскольку такие лазерные источники необходимы для оптико-волоконных систем связи, наземной связи с летающими и космическими объектами, дистанционного воздействия на атомные и молекулярные системы, обладающие узкими спектральными резонансами, в том числе для систем экологического контроля, и создания приборов медицинской техники [1,2].

Настоящая работа посвящена разработке технологии оптически совершенных монокристаллов молибдата стронция, легированных ионами празеодима, гольмия и тулия, пригодных для создания лазеров с одновременной генерацией и ВКР-преобразованием лазерного излучения в области 1 – 2 мкм.

Осуществлено комплексное исследование процессов кристаллизации молибдата стронция, легированного ионами Pr³⁺, Ho³⁺, Tm³⁺, оптимизированы параметры выращивания оптически однородных монокристаллов методом Чохральского из расплава; определены эффективные коэффициенты распределения примесей празеодима, гольмия и тулия в матрице SrMoO₄ в зависимости от наличия (отсутствия) ионов-компенсаторов заряда; на основе анализа спектрально-люминесцентных характеристик концентрационных серий кристаллов SrMoO₄, легированных Pr³⁺, Ho³⁺, Tm³⁺, осуществлен подбор оптимальных составов для применения в качестве активных и нелинейно-оптических сред; исследованы спектрально-люминесцентные свойства кристаллов молибдата стронция, соактивированных ионами гольмия и тулия; исследована реальная структура кристаллов и установлены закономерности состав-структура-свойство; изучены процессы лазерной генерации в кристаллах молибдата стронция, легированных Ho³⁺, Tm³⁺, Ho³⁺+Tm³⁺, в различных режимах.

Получены кристаллы молибдата стронция, легированные примесями редкоземельных металлов, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к кристаллическим материалам, используемым для создания ВКР-лазеров и ВКР-преобразователей лазерного излучения.

Литература

1. Т.Т.Басиев, “Новые кристаллы для лазеров на вынужденном комбинационном рассеянии” Физика твердого тела, 4(8), с. 1354-1358 (2005).
2. J. Sulc, H.Jelinkova, T. T.Basiev, M. E.Doroshenko, L. I.Ivleva, V. V.Osiko, P. G. Zverev, “Nd:SrWO₄ and Nd:BaWO₄ Raman lasers” Optical Materials, 30, pp. 195–197 (2007).

РОЛЬ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Козлова Н. С.¹, Гореева Ж.А.¹, Быкова М. Б.¹, Диденко И.С.¹,
Забелина Е.В.¹, Козлова А.П.¹

¹НИТУ «МИСиС», Межкафедральная учебно-испытательная лаборатория полупроводниковых материалов и диэлектриков «Монокристаллы и заготовки на их основе», 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4
тел./факс: (495) 638-45-60. E-mail: kozlova_nina@mail.ru

В настоящее время в научных и испытательных лабораториях используется сложное, высокоточное оборудование. Для метрологически корректных измерений и дальнейшей достоверной интерпретации полученных результатов необходимо наличие:

- поверенного или калиброванного оборудования; - стандартных образцов (СО);
- аттестованных методик измерений.

В данной работе рассматриваются вопросы разработки и применения стандартных образцов в аккредитованной испытательной лаборатории. Надеемся, что это будет интересно и полезно для научно-исследовательских лабораторий, а также ученых – теоретиков, использующих экспериментальные данные для своих расчетов.

Роль стандартных образцов для обеспечения единства измерений, метрологической прослеживаемости, сопоставимости результатов измерений в испытательных лабораториях трудно переоценить. Эффективность метрологического контроля, а в итоге достоверность получаемых результатов напрямую связаны с уровнем обеспечения лабораторий стандартными образцами. Важное значение имеет и обоснованность методических приёмов (способов) применения СО. СО предназначены для применения в системе обеспечения единства измерений для [1, 2]:

- поверки/ калибровки, градуировки средств измерений, а также контроля метрологических характеристик при проведении их испытаний, в том числе с целью утверждения типа;
- контроля погрешностей МВИ в процессе их применения в соответствии с установленными в них алгоритмами, а также для других видов метрологического контроля;
 - прослеживаемости и обеспечения единства измерений;
 - контроля стабильности и точности результатов измерений (в соответствии с алгоритмами установленными в методиках измерений [1];
 - разработки новых МВИ;
 - решения спорных вопросов при возникновении претензий заказчиков к результатам измерений.

Литература

- 1 Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
- 2 ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Минск, ИПК Издательство стандартов, 1998 г.-26 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СУЖЕНИЯ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ КРЕМНИЯ

О.Н. Королева^{1,2}, А.В. Мажукин^{1,2}, В.И. Мажукин^{1,2}

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
e-mail: koroleva.on@mail.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

Рассматриваются механизмы сужения запрещенной зоны в сильно нагретом кремнии. С ростом вырождения электронного и дырочного газа в области высоких температур для математического моделирования ширины запрещенной зоны становится необходимым использование квантовой статистики и интегралов Ферми-Дирака [1,2]. Моделирование запрещенной зоны необходимо для получения характеристик электронной подсистемы кремния. Особое внимание уделяется определению равновесной концентрации носителей заряда $N(T)$ в зоне проводимости (рис.1) и исследованию влияния на нее сужения запрещенной зоны. Значения сужения ширины запрещенной зоны $E_g(T,N)$ (рис. 2), рассчитанные с использованием теоретической модели, сравниваются с экспериментальными результатами [3].

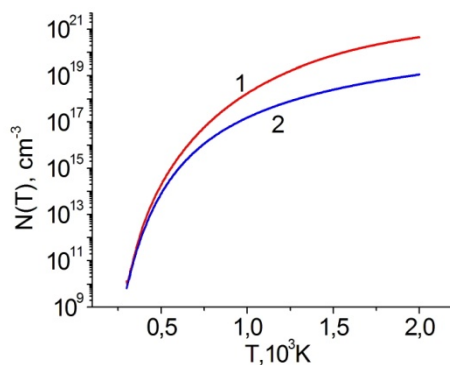


Рис. 1. Температурные зависимости концентрации носителей, рассчитанные с использованием статистик Ферми-Дирака (1) и Максвелла-Больцмана (2).

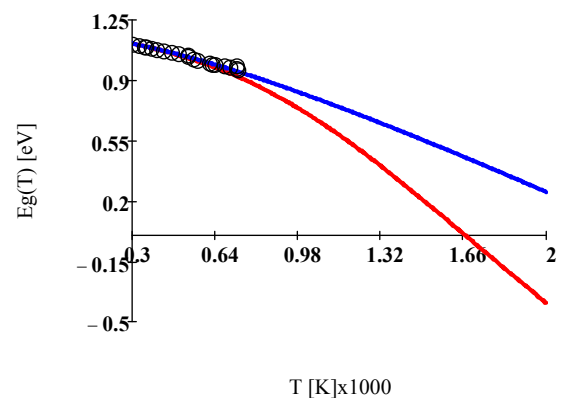


Рис. 2. Температурные зависимости ширины запрещенной зоны кремния, рассчитанные с использованием квантовой статистики (1) и Максвелла-Больцмана (2). Маркеры - данные эксперимента [3].

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты №№ 16-07-00263, 15-07-05025.

Литература

1. O.N. Koroleva, V.I. Mazhukin and A.V. Mazhukin. “Calculation of silicon band gap by means of Fermi-Dirac integrals”, *Mathematica Montisnigri*, 38, 49-63, 2017
2. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, and P.V. Breslavskiy, “Analytical Approximation of the Fermi-Dirac Integrals of Half-Integer and Integer Orders”, *Mathematical Models and Computer Simulations*, 9(3), 383–389 (2017).
3. Y. P. Varshni, “Temperature dependence of the energy gap in semiconductors”, *Physica*, **34** (1), 149-154 (1967).

SIMULATION OF THE NARROWING OF BAND GAP OF SILICON

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

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Miusskaya sq. 4, Moscow, 125047 Russia;*

²*National Research Nuclear University "MEPhI", Kashirskoe sh. 31, Moscow, 115409 Russia
e-mail: koroleva.on@mail.ru*

The mechanisms of narrowing of band gap in strongly heated silicon are considered. With increasing degeneracy of the electron and hole gas in the high-temperature region, it is necessary to use quantum statistics and Fermi-Dirac integrals for mathematical modeling of the band gap width [1, 2]. Simulation of the band gap is necessary to obtain the characteristics of the electron subsystem of silicon. Particular attention is paid to the determination of the equilibrium carrier concentration $N(T)$ in the conduction band (Fig. 1) and to the investigation of the influence of the narrowing of the band gap on it. The narrowing values of the band gap $E_g(T, N)$ (Fig. 2) calculated using the theoretical model are compared with the experimental results [3].

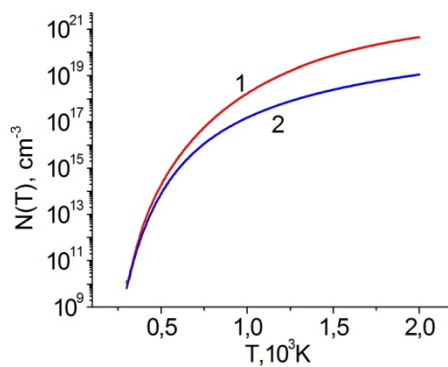


Fig. 1. Temperature dependences of the carrier concentration calculated using the Fermi-Dirac (1) and Maxwell-Boltzmann (2) statistics.

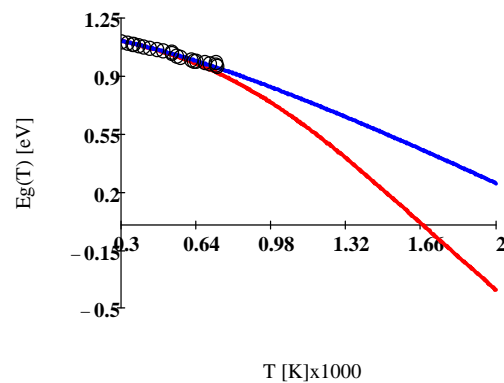


Fig. 2. Temperature dependences of the band gap of silicon, calculated using quantum statistics (1) and Maxwell-Boltzmann (2). Markers - experimental data [3].

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the RFBR projects Nos. 16-07-00263, 15-07-05025.

References

1. O.N. Koroleva, V.I. Mazhukin and A.V. Mazhukin. "Calculation of silicon band gap by means of Fermi-Dirac integrals", *Mathematica Montisnigri*, 38, 49-63, (2017)
2. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, and P.V. Breslavskiy, "Analytical Approximation of the Fermi-Dirac Integrals of Half-Integer and Integer Orders", *Mathematical Models and Computer Simulations*, 9(3), 383-389 (2017).
3. Y. P. Varshni, "Temperature dependence of the energy gap in semiconductors", *Physica*, **34** (1), 149-154 (1967).

**EQUATION OF STATE AND PHASE TRANSFORMATIONS OF SILICON AT
HIGH TEMPERATURES AND PRESSURES**

Khishchenko K.V.

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

Models of thermodynamic properties and phase transformations of silicon at high temperatures and pressures are of great interest for solving of problems in different physical areas and techniques. Equation of state for silicon in a broad region of phase diagram from normal conditions to extremely high energy densities is necessary for numerical simulations of nonsteady hydrodynamic processes of intense pulsed interactions with this material. In the present work, a semiempirical model of the thermodynamic potential Helmholtz free energy is developed for silicon with taking into account polymorphic transformations, melting and evaporation effects. Based on the developed model, a multiphase equation of state is constructed, and calculations of parameters of the phase diagram for the material over a wide range of densities and temperatures are carried out. A critical comparison of calculated results with available data of static and dynamic experiments is presented.

**УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КРЕМНИЯ ПРИ
ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ**

Хищенко К.В.

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

Модели термодинамических свойств и фазовых превращений кремния при высоких температурах и давлениях представляют большой интерес для решения задач в различных областях физики и технологиях. Уравнение состояния кремния в широкой области фазовой диаграммы (от нормальных условий до экстремально высоких плотностей энергии) необходимо для численного моделирования нестационарных гидродинамических процессов при интенсивных импульсных взаимодействиях с этим материалом. В настоящей работе развита полуэмпирическая модель термодинамического потенциала свободной энергии кремния с учетом полиморфного фазового превращения, плавления и испарения. На основе развитой модели получено многофазное уравнение состояния и проведены расчеты параметров фазовой диаграммы этого вещества в широком диапазоне плотностей и температур. Выполнено критическое сопоставление расчетных результатов с совокупностью имеющихся данных статических и динамических экспериментов.

CONDUCTIVITY CURRENT IN SILICON

Berezin A.V., Markov M.B., Tarakanov I.A., Volkov Y.A.

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

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

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

One of these modules calculates the radiation conductivity in active areas of microelectronic devices. Mathematical model of radiation conductivity in semiconductors is based on jointed solution of classic and quantum kinetic equations with scattering and Maxwell equations for electromagnetic field. External free particles create excess charge carriers – electrons of conductivity and holes of valence band. The collisional integral in quantum kinetic equations describes charge carriers scattering on phonons and impurities. Numerical solving of quantum and classic kinetic equations is carried out by the statistic particle method [1]. This method combines stochastic modeling of carrier scattering and particles motion in selfconsistent and external electromagnetic field.

Recently we designed new improvement of statistic particle method and its connection to Maxwell equations module. We calculated radiation conductivity directly from relaxation time and effective mass of every particle. Conductivity current is used instead external current in Maxwell equation. It improves convergence FDTD scheme. Conductivity gives all energy losses, which give us energy, transferred to the lattice. This energy will be used as source in perspective thermomechanics module.

The results obtained from testing calculations showed efficiency of this approach.

Acknowledgement : The reported study was partially supported by RFBR, research project No. 17-01-00301, No. 15-01-03027

References

1. Березин А. В., Волков Ю. А., Казымов Ш.А., Марков М. Б., Тараканов И.А. “Моделирование радиационной проводимости статистическим методом частиц”, Москва, Препринт ИПМ, 9, (2016).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ОБЛАКАМИ.

Рыбакин Б.П.¹

¹МГУ им.М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, НИИСИ РАН
rybakin@vip.niisi.ru

В работе представлены результаты трехмерного численного моделирования особенностей формирования и эволюции филамент, стратификации плотности и процессов абляции вещества в процессе гидродинамического взаимодействия молекулярных облаков МО с ударными волнами. Взаимодействие ударных волн различной интенсивности с межзвездными облаками является одним из самых распространённых процессов кругооборота вещества в Галактиках. Исследован процесс взаимодействия ударных волн на МО с различными типами границ – сглаженными и резкими. Изучен процесс стратификации молекулярных облаков, т.е. динамическое распределение плотности. Доминирующим фактором в динамике взаимодействия оказывается турбулентные движения среды [1]. Исследовано влияние массы и формы облака на рассеивание кинетической энергии ударной волны и образования распределения плотности МО по фракциям.

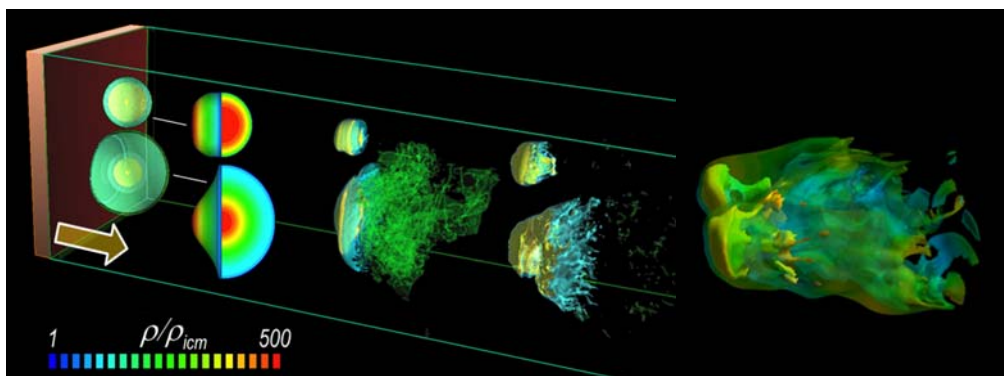


Рис. 1. Начальное распределение плотности и образование филамент.

Результаты проведенного моделирования показали, что процесс формирования филамент и стратификация вещества по плотности существенно зависит от нескольких факторов. Ударные волны, которые взаимодействуют с молекулярным облаком, рассеивают свою кинетическую энергию на абляцию вещества МО, образование и унос филамент, формирование областей повышенной плотности рис. 1. Ускорение и замедление центра массы системы молекулярных облаков тесно связано с площадью поверхности облака, с увеличением или уменьшением локального сжатия вещества, а также фрагментирования расщепленных «ядер» и филаментов.

Благодарности (жирный шрифт): Работа выполнена благодаря поддержке гранта РФФИ 14-29-06055

Литература:

1. B. Rybakin, V. Betelin, V. Dushin, E. Mikhachenko, S. Moiseenko, L. Stamo, V. Tyurenkova, “Model of turbulent destruction of molecular clouds”, Acta Astronautica, 119, 131–136 (2016)

FLUID DYNAMIC EFFECTS IN HIGH-ENERGY ELECTRONS FLUX

Berezin A.V., Voronin F.N., Gasilov V.A., Inozemtseva K.K., Markov M.B., Parotkin S.V.

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

We consider electromagnetic field emerging during particle accelerator experiment [1]. High-energy electrons beam spreads in a gas medium, generating self-consistent electromagnetic field. Mathematical model of the phenomena includes high-energy electrons transport equation. Collision's integral takes into account processes of elastic scattering, impact ionization, bremsstrahlung and medium excitation [2]. To compute particle propagation in a gas medium we apply modifications of particle-in-cell method [3]. Electromagnetic field is composed of currents generated by high-energy electrons and by conductance current in ionized medium. It is obtained from finite-difference scheme for Maxwell equations [4]. The dynamics of gas under influence of electrons flux is modeled by equations of two-temperature fluid dynamics [5]. We consider the influence of fluid dynamics effects on scattering medium properties. It is assumed that electrodynamic and thermomechanical properties of gas substance change insignificantly during particle life time. The key feature is a direct account of cross-coupling of electromagnetic field and dynamics of gas medium. Finite-difference scheme for Maxwell equations contains convective current density caused by the motion of ionized substance. The Lorentz force is taken into account in equations of fluid dynamics, and the entire system of equations describing the electromagnetic field and substance is conservative. Preliminary results of numerical methods development and testing are presented.

Acknowledgement : The reported study was partially supported by RFBR, research project No. 17-01-00301, 15-01-03027.

References:

1. A. Andrianov A., A. Berezin, A., A. Vorontsov, K. Efimkin, V. Zinchenko, M. Markov, A. Chlenov, "Modeling the electron beam from the accelerator LIA-10 on the multiprocessor computer system", *Mahtemactical Modeling*, 22(2), 29-44 (2010)
2. N. Mott, H. S. W. Massey, "The theory of atomic collisions", IIL, Moscow, (1949)
3. A. Andrianov, A. Berezin, A. Vorontsov, K. Efimkin, V. Zinchenko, M. Markov, "The radiational electromagnetic fields modeling at the multiprocessor computing systems", *Mahtemactical Modeling*, 20(3), 98-114 (2008)
4. A. Berezin, A. Krukov, B. Plyushchenkov, "The method of electromagnetic field with the given wavefront calculation" *Mahtemactical Modeling*, 23(3), 109-126 (2011)
5. V. Gasilov, et al. "Towards an Application of High-Performance Computer Systems to 3D Simulations of High Energy Density Plasmas in Z-Pinches", *Applications, Tools and Techniques on the Road to Exascale Computing*. IOS Press: *Advances in Parallel Computing*, 22, 235-242 (2012)

AN APPROACH TO THE RADIATION EFFECTS MODELING BY THE APPLICATION OF THE CASCADE CORRELATION NEURAL NETWORKS

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

The problem of the estimation of radiation influence on the irradiated objects is considered. The interaction between gamma radiation and matter leads to heating and ionization of the object. The heating can cause thermomechanical effects engendering the structural changes in the object. The ionization and secondary electrons have possibility to degrade the semiconductor properties of the microchips. Electrons fluxes generated by photons can leave the boundary surfaces of irradiated object result in production of the self-consistent electromagnetic field, etc.

Thus, the mathematical modeling of the ionizing radiation effect requires to simulate the various processes from different areas of physics:

- modeling of the photon-electron cascade creation in matter;
- the simulation of generating self-consistent electromagnetic fields;
- numerical solution of the thermomechanical problem;
- modeling of the degradation of the semiconductor properties.

The complete researching of the radiation effects implies the interrelated simulation of the processes when the solution of one problem is the required data for other's solving. The problems are solving by use of different mathematical models, various numerical methods and dissimilar geometrical description of the object. The photon-electron cascade development, for instance, is simulated by use of surface oriented method of the object specification. The electrodynamic problem is numerically solved on the 3D grid in Cartesian coordinates. Tetrahedral irregular grids are applied for modeling the thermomechanical effects. The usage of different geometrical descriptions complicates the application of the results of one modeled physical phenomena as the initial data of other's simulation. For example, the emitted electrons flux density “measured” on the triangulated surface of an object must be interpolated on the cells of Cartesian rectangular mesh for solving the electrodynamic problem.

The approximation of the functions in 3D geometry is non-trivial problem. An approach based on using the neural networks is developed by authors of this work [1] for solving the approximation problem. The multi-layer perceptron is chosen for construction neural network. The elaborated method envisages to perform the network training and to define the perceptron topology manually.

The mathematical modeling of the processes in question requires the automated process of the neural network parameters adjustment and the automated process of the network topology construction. The cascade correlation neural networks are applied for solving the mentioned problems. Some examples are presented.

Acknowledgments: This work is partially supported by Russian Fund for Basic Researches, grants N 17-01-00301 and N 15-01-03027

References:

1. V. Egorova, M. Zhukovskiy. “Handling of the radiative electron emission modeling results by use of the neural networks”, MATHEMATICA MONTISNIGRI Vol XXXVIII (2017) p. XX-XX.

APPLICATION OF CABARET DIFFERENCE SCHEME TO THE METHOD OF DYNAMIC ADAPTATION ON THE EXAMPLE OF BURGERS EQUATION

Bykovskaya E.N.

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Miusskaya sq. 4, Moscow
e-mail: elena.bykovskaya1@gmail.com*

The method of dynamic adaptation [1] is one of the most promising methods for constructing adaptive grids for nonstationary problems. Specifying of the particular form of the dependence of the coordinate transformation function on the desired solution determines the appropriate adaptation mechanism, which makes it possible to track the features of the solution. The main ways of further improvement of the method of dynamic adaptation are aimed, firstly, at the development of the principles of the transformation function constructing, and secondly, at the search for more qualitative difference schemes, which improves the quality of the method.

This work is devoted to the second direction. The authors [2] over many years have developed the Cabaret scheme for improving the quality of modeling of convective processes. This scheme is dissipationless and has improved dispersion properties in comparison with the classical linear schemes. Its transport characteristics are orders of magnitude greater than the transport characteristics of known linear scheme. The next step in the development of the Cabaret scheme the authors suppose to apply it to the computational moving grids. This is of interest for its use in conjunction with the method of dynamic adaptation.

In our work, Cabaret difference scheme was applied to the dynamic adaptation method for solving Burgers equation with $\mu = 10^{-4}$ and the number of nodes $N = 26$. The evolution of the initial condition in the form of an asymmetric sinusoid was obtained. A comparison with the results of calculations using other finite-difference schemes was carried out.

References:

1. V.I.Mazhukin, A.A.Samarskii, Orlando Kastehanov, A.V.Shapranov, "Method of dynamical adaptation for evolution - type problems with high gradients", *Mathematical Modeling*,5(4), 32-56 (1993)
2. Goloviznin VM, Gorbachev D.Yu., Kolokolnikov AM, Maiorov PA, Tlepsuk B.A., "Implicit time-reversible Cabaret schemes for quasilinear shallow water equations", *Computational methods and programming*. 17(4), 402–414 (2016)

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ КАБАРЕ К МЕТОДУ
ДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ УРАВНЕНИЯ БЮРГЕРСА**

Быковская Е.Н

*Институт Прикладной Математики им М.В.Келдыша РАН
elena.bykovskaya1@gmail.com*

Метод динамической адаптации является одним из наиболее перспективных методов построения адаптирующихся сеток для нестационарных задач. Задание конкретного вида зависимости функции преобразования координат от искомого решения определяет соответствующий механизм адаптации, позволяющий отслеживать особенности решения. Основные пути дальнейшего совершенствования метода динамической адаптации направлены, во-первых, на развитие принципов построения функции преобразования, во-вторых, поиск более качественных разностных схем, существенно улучшающих возможности метода.

Второму направлению посвящена данная работа. Авторами [2] на протяжении многих лет для улучшения качества моделирования конвективных процессов разрабатывалась схема Кабаре, которая является бездиссипативной и обладает улучшенными по сравнению с классическими линейными схемами дисперсионными свойствами. Её транспортные характеристики на порядки превосходят транспортные характеристики известных линейных схем. Следующим шагом развития авторы схемы Кабаре предполагают применить её к подвижным расчетным сеткам. Это представляет интерес для ее использования совместно с методом динамической адаптации.

В нашей работе разностная схема Кабаре была применена к методу динамической адаптации для решения уравнения Бюргерса при $\mu = 10^{-4}$ и числом узлов $N = 26$. Была получена эволюция начального условия в форме ассиметричной синусоиды. Проведено сравнение с результатами вычислений с использованием других конечно-разностных схем.

Литература:

1. В.И. Мажукин, А.А. Самарский, Орландо Кастельянос, А.В. Шапранов, “Метод динамической адаптации для нестационарных задач с большими градиентами”, Математическое моделирование, 5(4), 32-56 (1993)
2. В.М. Головизнин, Д.Ю. Горбачев, А.М. Колокольников, П.А. Майоров, Б.А. Тлепсук, “Неявные обратимые по времени схемы Кабаре для квазилинейных уравнений мелкой воды”, Вычислительные методы и программирование, 17(4), 402–414 (2016)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ И ФОНОННОЙ ПОДСИСТЕМ КРЕМНИЯ

О.Н. Королева, А.В. Мажукин

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

e-mail: koroleva.on@mail.ru

Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

Анализируются результаты математического моделирования характеристик электронной и фоновой подсистем кремния с собственной проводимостью. Свойства электронной подсистемы определяются в рамках континуального подхода использующего квантовую статистику электронного газа [1,2]. Свойства фоновой подсистемы определяются в рамках атомистического подхода с использованием двух потенциалов межчастичного взаимодействия KHS и Стиллежера-Вебера [2]. Такие свойства электронного газа как, концентрация электронов $N_e(T)$, дырок $N_h(t)$, энергия Ферми $E_F(T)$, ширина запрещенной зоны $E_g(T,N)$, подвижность носителей $\mu(T,N)$, электропроводность $\sigma(T,N)$, коэффициент амбиполярной диффузии, теплоемкость, теплопроводность определяются в произвольном диапазоне вырождения электронного газа при изменении температуры от 300К до 2000К. Определяются такие свойства фоновой подсистемы, как барические зависимости температуры плавления кремния $T_m(P)$ и теплоты плавления $L_m(P)$, температурные зависимости теплоты испарения $L_v(T)$, теплоемкости, коэффициента линейного расширения, плотности. Отмечаются преимущества использования потенциала Стиллежера-Вебера для моделирования свойств в области плавления и потенциала KHS в области критических температур. Представлена численная и графическая информация (рис.1, 2) о полученных свойствах и результаты сравнения с данными экспериментов [4].

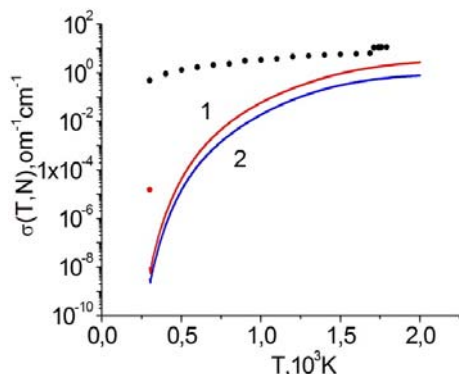


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности (1) электронов, (2) дырок. Маркеры - экспериментальные и справочные данные [4].

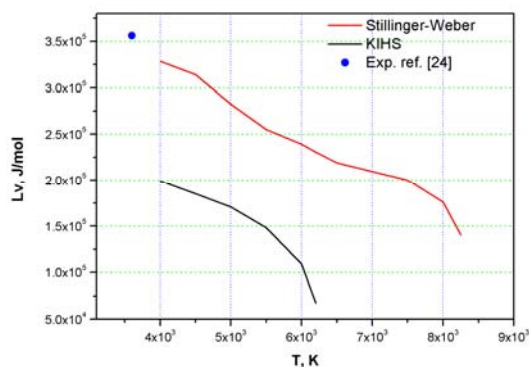


Рис. 2. Температурная зависимость теплоты испарения кремния. Маркер – справочные данные [4].

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты №№ 16-07-00263, 15-07-05025.

Литература

1. J.S. Blakemore, Solid State Physics, 2nd ed., Cambridge University Press, New York, (1985)
2. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, P.V. Breslavskiy, “Approximation of Fermi-Dirac integrals of different orders used to determine the thermal properties of metals and semiconductors”, *Mathematica Montisnigri*, 35, 37-53 (2016).
3. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, A.E. Rudenko, “Srvnitel’ny’i analiz potencialov mezhatomnogo vzaimodei’stviia dlia kristallicheskogo kremniia”, *Mathematica Montisnigri*, 30, 56-75 (2014).
4. *Fizicheskie velichiny, Spravochnik pod red. I.S. Grigoreva, E.Z. Meilihova. M.: Energoatomizdat (1991)*

MODELING OF THE PROPERTIES OF ELECTRON AND PHONON SUBSYSTEMS OF SILICON

O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia; e-mail: koroleva.on@mail.ru
National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia*

The results of mathematical modeling of the characteristics of electron and phonon subsystems of silicon with intrinsic conductivity are analyzed. The properties of the electronic subsystem are determined within the framework of the continuum approach using the quantum statistics of electron gas [1,2]. The properties of the phonon subsystem are determined within the framework of the atomistic approach using two interparticle interaction potentials KIHS and Stilleger-Weber [2]. Such electron gas properties as electron concentration $N_e(T)$, hole concentration $N_h(t)$, Fermi energy $E_F(T)$, band gap $E_g(T,N)$, carrier mobility $\mu(T,N)$, electrical conductivity $\sigma(T,N)$, the coefficient of ambipolar diffusion, heat capacity, thermal conductivity are determined in an arbitrary range of electron gas degeneracy with a temperature change from 300K to 2000K. Were determined such properties of the phonon subsystem as pressure dependences of the melting temperature of silicon $T_m(P)$ and the heat of melting $L_m(P)$, the temperature dependence of the heat of evaporation $L_v(T)$, heat capacity, the coefficient of linear expansion, and the density. The advantages of using the Stilleger-Weber potential for modeling properties in the melting range and KIHS potential in the critical temperature region are noted. Numerical and graphical information (Fig. 1,2) on the properties obtained and comparison results with experimental data are presented [4].

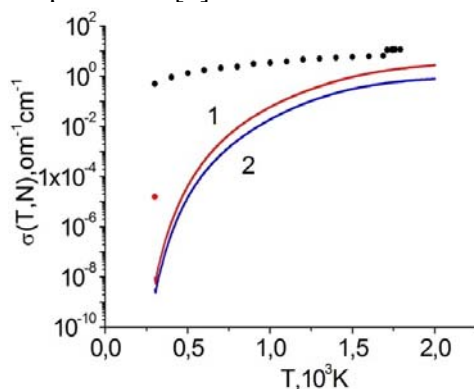


Fig. 1. Temperature dependences of the electrical conductivity of electrons (1), holes (2). Markers - experimental and reference data [4].

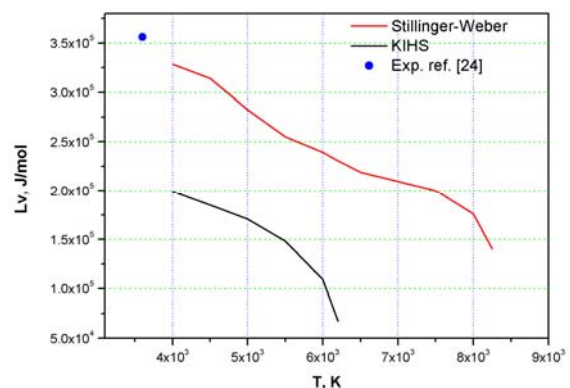


Fig. 2. Temperature dependence of the heat of evaporation of silicon. The marker is the reference data [4].

Acknowledgements. The work was supported by the RFBR projects Nos. 16-07-00263, 15-07-05025.

References

1. J.S. Blakemore, [Solid State Physics, 2nd ed.], Cambridge University Press, New York, (1985)
2. O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, P.V. Breslavskiy, “Approximation of Fermi-Dirac integrals of different orders used to determine the thermal properties of metals and semiconductors”, *Mathematica Montisnigri*, 35, 37-53 (2016).
3. V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, A.E. Rudenko, “Srvnritel’ny’i analiz potencialov mezhatomnogo vzaimodei’stviia dlia kristallicheskogo kremniia”, *Mathematica Montisnigri*, 30, 56-75 (2014).
4. *Fizicheskie velichiny, Spravochnik pod red. I.S. Grigoreva, E.Z. Meilihova. M.: Energoatomizdat (1991)*

ACOUSTICAL MONITORING MODELING OF METALS ABLATION INDUCED WITH INTENSITY MODULATED NANOSECOND LASER PULSES

A.A. Samokhin¹, A.E. Zubko¹

¹ Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Vavilov Str., 38, Moscow, Russia
E-mail: aleksey.zubko11@gmail.com

In ref. [1] it was demonstrated that recoil pressure response in condensed matter to absorption of nanosecond laser pulses with periodically modulated intensity can simultaneously give information about the pressure and ablation rate behavior. Irradiation surface movement results in changes of the modulated pressure component due to acoustical Doppler effect. However harmonic modulation used in ref. [1] in the case of water irradiated with erbium laser pulses is not efficient in the case of metal ablation because of interplay between two different mechanisms of pressure generation [2] which results in significant distortion of the modulated pressure signal in addition to the acoustical Doppler effect.

In the present work another form of modulation is considered. Intensity of nanosecond laser pulse is modulated with the help of short (0.1 ns) peaks train due to self mode-locking with period 8 ns. The ablation process is described in the framework of continual approach [2,3] where irradiation of liquid Hg was considered. Here the same modulation regimes as in [2,3] are used in the case of Al target. The calculations results are given in fig. 1.

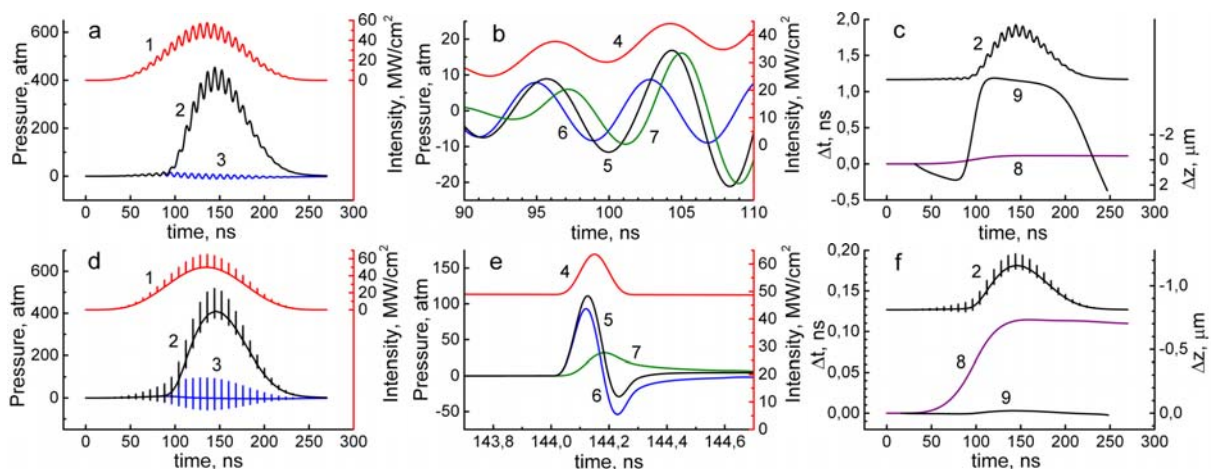


Fig. 1. Curves 1, 2 and 3 (a, d) show absorbed modulated laser intensity, modulated pressure response and its thermoacoustic component. Curves 4, 5, 6 and 7 (b, e) – fragments of modulated laser intensity, total pressure response, its thermoacoustic and evaporation components. Curves 8 and 9 (c, f) – irradiated surface displacement (mainly due to thermal expansion), and (in the same units) distortion of modulated part of pressure response due to interplay between two pressure generation mechanisms. Curve 8 stops to grow when vaporization process develops (curve 2).

References:

1. A.A. Samokhin and N.N. Il'ichev, "On photoacoustic monitoring of laser evaporation front movement", *Quantum Electron.*, 40(8), 659–660 (2010).
2. A.A. Samokhin, S.I. Kudryashov, A.E. Zubko and A.V. Sidarin, "Modelling of nanosecond laser ablation. Continual approach", *Mathematica Montisnigri*, 37, 76-90 (2016).
3. A.E. Zubko, A.A. Samokhin. "Pressure pulses generated in metals under the action of nanosecond laser pulses with periodically modulated intensity", *Engineering Physics*, 3, 47-52 (2017).

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛОВ ИНДУЦИРОВАННОЙ МОДУЛИРОВАННЫМИ НАНОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

А.А. Самохин¹, А.Е. Зубко¹

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, 38, Москва, Россия
E-mail: aleksey.zubko11@gmail.com*

В работе [1] было показано, что генерируемое давление в конденсированной среде при поглощении наносекундных лазерных импульсов с периодически модулированной интенсивностью может одновременно давать информацию и о давлении, и о скорости абляции. Движение облучаемой поверхности влияет на модулированную часть давления из-за акустического эффекта Доплера. Однако гармоническая модуляция, используемая в работе [1], неэффективна в случае абляции металла из-за вкладов двух различных механизмов генерации давления [2], что приводит к значительному искажению модулированного сигнала в дополнение к акустическому эффекту Доплера.

В настоящей работе рассматривается другая форма модуляции, обусловленная цугом коротких (0,1 нс) пиков с периодом 8 нс. Процесс абляции описывается в рамках континуального подхода, использованного в [2,3], при рассмотрении абляции жидкой ртути. Результаты аналогичного подхода для жидкого алюминия приведены на рис. 1.

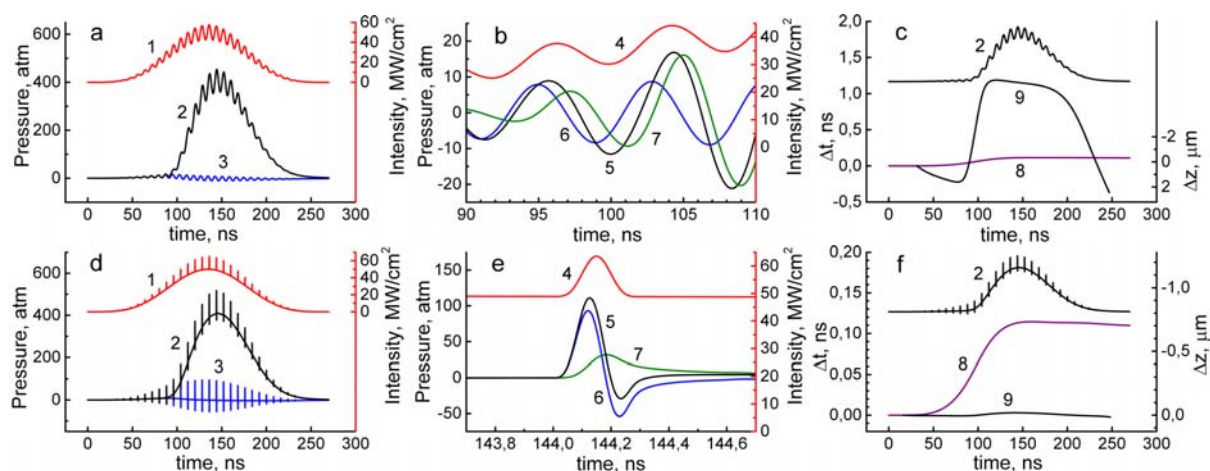


Рис. 1. Кривые 1, 2 и 3 (a,d) показывают поглощаемую модулированную лазерную интенсивность, модулированный отклик давления и его термоакустическую составляющую. Кривые 4, 5, 6 и 7 (b, e) – фрагменты модулированной лазерной интенсивности, полного давления, его термоакустической и испарительной составляющих. Кривые 8 и 9 (c, f) – смещение облучаемой поверхности и (в тех же единицах) искажение модулированной части отклика давления из-за взаимодействия между двумя механизмами генерации давления. Рост кривой 8 останавливается с развитием испарения (кривая 2).

References:

1. А.А. Самохин, Н.Н. Ильичев, “О фотоакустическом мониторинге движения фронта лазерного испарения”, Квант. электроника, 40(8), 659–660 (2010).
2. А.А. Samokhin, S.I. Kudryashov, A.E. Zubko and A.V. Sidorin, “Modelling of nanosecond laser ablation. Continual approach”, Mathematica Montisnigri, 37, 76-90 (2016).
3. А.Е. Zubko, А.А. Samokhin. “Pressure pulses generated in metals under the action of nanosecond laser pulses with periodically modulated intensity”, Engineering Physics, 3, 47-52 (2017).

РОЛЬ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Шапранов А.В.^{1,2}, Мажукин В.И.^{1,2}, Демин М.М.¹

¹Институт Прикладной Математики им.М.В.Келдыша РАН, Москва, Россия, shap@spnet.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия

В последние годы вышел ряд экспериментальных работ, посвященных исследованию распределения аблированных частиц по энергиям, по размерам, по зарядовому составу при воздействии фемтосекундных лазеров на металлы и полупроводники. Одним из неожиданных фактов, отмеченных экспериментаторами, было наблюдение достаточно высокоэнергетических субнанометровых частиц и отдельных атомов (в несколько электронвольт на атом) при относительно низких флюенсах лазерного импульса [1].

Мы занимались моделированием лазерного воздействия на металлы с использованием континуальной и молекулярно-динамической моделей в односкоростном двухтемпературном приближении. При этом столкнулись проблемой постановки граничного условия для силы увлечения (*blast force*), действующей со стороны электронного газа на ионную подсистему. Противоречие возникало из-за ограничений односкоростной модели, предполагающей локальную электронейтральность в каждой точке пространства, включая и окрестность поверхности металла. В реальности у поверхности металла на расстояниях порядка дебаевского радиуса существует разделение зарядов – двойной слой [2].

Анализ решения задачи о двойном слое позволил сформулировать корректные постановки задачи для континуального и молекулярно-динамического моделирования. Главной особенностью этих постановок является учет дополнительной силы, действующей на приповерхностные ионы металла со стороны электронной подсистемы. При фемтосекундных режимах лазерного воздействия на металлы этой силы оказывается достаточно для срыва тонкого приповерхностного субнанометрового слоя вещества на ранних стадиях развития процесса абляции даже для относительно не больших интенсивностей. Именно этот процесс формирует поток быстрых частиц, наблюдавшихся в упомянутых экспериментах.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ проект № 15-11-00032.

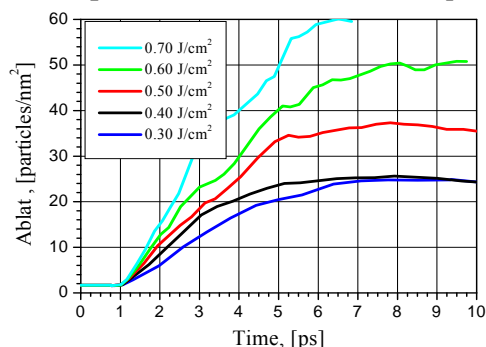


Рис.1. Число "быстрых" аблированных частиц с одного квадратного нанометра площади поверхности металла.

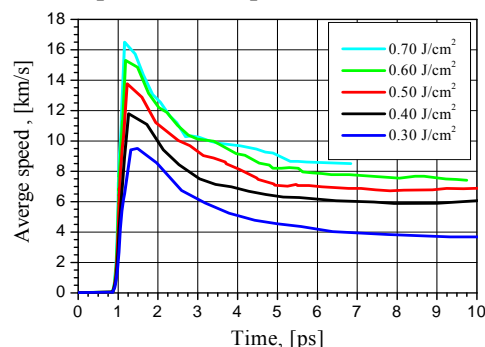


Рис.2. Средняя скорость аблированных частиц с поверхности металла для разных флюенсов лазерного импульса .

Литература:

1. H. Dachraoui, W. Husinsky, G. Betz. Ultra-short laser ablation of metals and semiconductors: evidence of ultra-fast Coulomb explosion. Appl. Phys. A, V.83(2), pp.333-336 (2006)
2. Я.А.Баранов, Ю.В.Мартыненко, С.О.Цепелевич, Ю.Н.Явлинский. Неупругое распыление твердых тел ионами. УФН, Т.156, вып.3, с.477-511 (1988)

THE SIGNIFICANCE OF THE ELECTRICAL DOUBLE LAYER AT THE SURFACE OF METAL DURING LASER ABLATION

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

¹*Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS, Moscow, Russia, shap@spnet.ru*

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

In recent years, a number of experimental studies have been devoted to the study of the distribution of ablated particles in terms of energy, size and charge composition under the action of femtosecond lasers on metals and semiconductors. One of the unexpected facts noted by the experimenters was the observation of sufficiently high-energy subnanometric particles and individual atoms (several electron-volts per atom) at relatively low fluences of the laser pulse [1].

We were engaged in modeling of laser effects on metals using continual and molecular dynamics models in a single-velocity two-temperature approximation. At the same time, the problem of setting the boundary condition for the blast force, acting from the side of the electron gas to the ionic subsystem, was encountered. The contradiction arose because of the limitations of the single-velocity model, which assumes local electroneutrality at each point of space, including the neighborhood of the metal surface. In reality, at the metal surface, at distances of the order of the Debye radius, there is a separation of charges – a double layer [2].

An analysis of the solution of the double-layer problem made it possible to set the correct formulation of the problem for continual and molecular-dynamic modeling. The main feature of these formulations is the consideration of the additional force acting on the near-surface metal ions from the side of the electronic subsystem. In femtosecond laser exposure to metals, this force is sufficient to disrupt a thin near-surface subnanometric layer of matter in the early stages of the development of the ablation process, even for relatively low intensities. It is this process that forms the flow of fast particles observed in the above experiments.

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the RSCF project No 15-11-00032

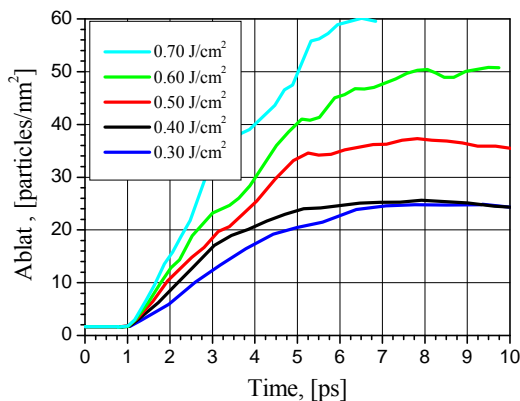


Fig.1. The number of "fast" ablated particles from one square nanometer of the metal surface area.

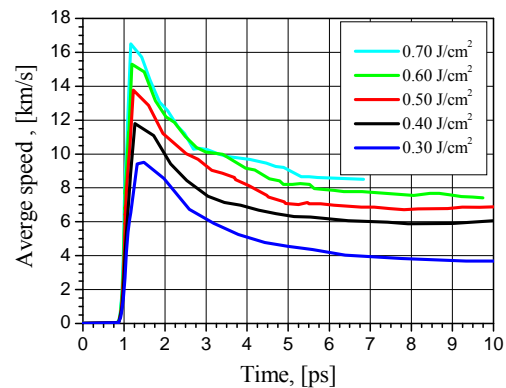


Fig.2. The average velocity of the ablated particles from the metal surface for different fluences of the laser pulse.

References:

1. H. Dachraoui, W. Husinsky, G. Betz. Ultra-short laser ablation of metals and semiconductors: evidence of ultra-fast Coulomb explosion. *Appl. Phys. A*, V.83(2), pp.333-336 (2006)
2. Ya.A. Baranov, Yu.V. Martynenko, S.O. Tsepelevich, and Yu.N. Yavlinsky. Inelastic sputtering of solids by ions. *UFN*, T.156, issue 3, p. 477-511 (1988)

МНОГОМАСШТАБНОЕ ДВУХУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ БИНАРНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ВАКУУМ

В.О. Подрыга¹, С.В. Поляков^{1,2}

¹ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Россия, Москва, Миусская площадь, 4

²НИЯУ МИФИ, 115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31
pvictoria@list.ru

Работа посвящена моделированию нелинейных газодинамических процессов в технических микро- и наносистемах. Данное направление является актуальным для многих приложений по внедрению и использованию нанотехнологий в различных отраслях промышленности [1]. В работе предложен многомасштабный двухуровневый подход [2], который основан на объединении моделей механики сплошной среды и динамики Ньютона для отдельных частиц и разделяется на макро- и микроуровни. В качестве модели сплошной среды рассматривается квазигазодинамическая система уравнений [3]. Эта система используется на макроуровне для расчетов течения газовой смеси и учета влияния внешней среды. В качестве модели частиц рассматривается модель молекулярной динамики [4]. Данная модель используется на микроуровне для определения: транспортных коэффициентов, параметров уравнений состояния реальных газов и их смесей, типа и параметров граничных условий.

Предложенный многомасштабный двухуровневый подход позволяет моделировать многокомпонентные течения реальных газов в микроканалах сложной геометрии в широком диапазоне чисел Кнудсена. В основе его численной реализации лежит метод расщепления по физическим процессам. Уравнения квазигазодинамики решаются методом конечных объемов на сетках различного типа. Уравнения динамики Ньютона решаются по схеме Верле либо в каждой ячейке сетки независимо, либо в группах связанных ячеек. Параллельная реализация подхода основана на методе разделения областей, геометрическом и функциональном параллелизме и ориентирована на использование вычислительных систем с центральной и гибридной архитектурами.

В качестве примера рассмотрена задача истечения газовой смеси азота и водорода в вакуум. В ее рамках исследована корректность численной реализации подхода и проведено сравнение полученных численных результатов с экспериментальными данными. В результате подтверждена робастность и эффективность разработанного подхода по сравнению с традиционными методами расчета.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 15-07-06082-а, 16-37-00417-мол_а).

Литература:

1. M. Rieth, W. Schommers, "Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology", American Scientific Publishers (2006).
2. V.O. Podryga, Y.N. Karamzin, T.A. Kudryashova, S.V. Polyakov, "Multiscale simulation of three-dimensional unsteady gas flows in microchannels of technical systems" Proc. of VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Vol. 2, 2331-2345 (2016).
3. Т.Г. Елизарова, "Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений", М.: Научный мир (2007).
4. D.C. Rapaport, "The art of molecular dynamics simulation", Cambridge: Cambridge University Press (2004).

MULTISCALE TWOLEVEL MODELING OF THE BINARY GAS MIXTURE OUTFLOW TO THE VACUUM

V.O. Podryga¹, S.V. Polyakov^{1,2}

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

²*National Research Nuclear University MEPhI, 115409, Russia, Moscow, Kashirskoe shosse, 31
pvictoria@list.ru*

The work is devoted to modeling of nonlinear gasdynamic processes in technical micro- and nanosystems. This problem is relevant for many applications on introducing and using the nanotechnology in various industries [1]. A multiscale twolevel approach is proposed [2], which is based on combining models of continuum mechanics and Newton's dynamics for individual particles and is divided into macro- and microlevels. A quasigasdynamic system of equations is considered as a model of continuous medium [3]. This system is used at the macrolevel for calculating the flow of a gas mixture and takes into account the influence of the external environment. A model of molecular dynamics is considered as a model of particles [4]. This model is used at the microlevel for determining the real gases and their mixture parameters, such as: transport coefficients, parameters of the equations of state, type and parameters of the boundary conditions.

The proposed multiscale twolevel approach allows modeling multicomponent flows of real gases in microchannels of complex geometry in a wide range of Knudsen numbers. The basis of its numerical implementation is a method of splitting into physical processes. Equations of quasigasdynamics are solved by the method of finite volumes on grids of various types. Equations of Newton's dynamics are solved according to the Verlet integration either in each grid cell independently or in groups of coupled cells. Parallel implementation of the approach is based on the method of domain decomposition, geometric and functional parallelism and is oriented towards the use of computer systems with central and hybrid architectures.

As an example, the problem of the outflow of nitrogen and hydrogen gas mixture to the vacuum is considered. In its framework, the correctness of the numerical implementation of the approach is investigated and the numerical results obtained in calculations are compared with the experimental data. As a result, the robustness and the efficiency of the developed approach are confirmed in comparison with the traditional methods of calculations.

Acknowledgements: This work was supported by Russian Foundation for Basic Research (projects no. 15-07-06082-a, 16-37-00417-mol_a).

References:

1. M. Rieth, W. Schommers, “Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology”, American Scientific Publishers (2006).
2. V.O. Podryga, Y.N. Karamzin, T.A. Kudryashova, S.V. Polyakov, “Multiscale simulation of three-dimensional unsteady gas flows in microchannels of technical systems” Proc. of VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Vol. 2, 2331-2345 (2016).
3. T.G. Elizarova, “Quasi-Gas Dynamic Equations”, Berlin: Springer-Verlag (2009).
4. D.C. Rapaport, “The art of molecular dynamics simulation”, Cambridge: Cambridge University Press (2004).

О ДВИЖЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА ПРИ ПАССИВНОМ ПОЛЕТЕ

Г.К.Боровин¹, В.В.Лапшин²

¹ИИПМ им. М.В.Келдыша РАН, г.Москва, Россия
borovin@keldysh.ru

²МГТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва, Россия
vladimir@lapshin.net

Рассматривается задача управления движением космического робота, состоящего из корпуса и руки манипулятора (РМ). Робот находится в состоянии пассивного полета, т.е. не имеет (либо не использует) двигатели, которые позволяют управлять движением КР. При управлении движением робота, используются только двигатели в степенях подвижности РМ. Движение РМ относительно корпуса робота (КР) оказывает заметное влияние на движение КР в силу теорем об изменении количества движений и кинетического момента относительно центра масс [1-6]. Предполагается, что вектор количества движений и кинетический момент робота относительно центра масс равны нулю.

В отличие от ранее полученных результатов [1-4] показано, что задача перемещения схвата робота из произвольного начального положения в произвольное конечное положение внутри области достижимости всегда имеет решение. Таких решений бесконечное множество. При этом среди них существуют решения, которые обеспечивают выход в конечное положение схвата робота при заданном (наиболее удобном для выполнения рабочих операций) значении угла между рукой манипулятора и корпусом робота.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-01-00521.

Литература

1. Dubovsky S., Papadopoulos E. "The Kinematics, Dynamics, and Control of Free-Flying and Free-Floating Space Robotics Systems", IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1993, 9 (5), 531-543 (1993)
2. Moosavian S., Ali A., Papadopoulos E. "Free-Flying robots in Space: an Overview on Dynamics Modelling, Planning and Control", J. Robotica, 25 (5), 537-547 (2007)
3. Рутковский В.Ю., Суханов В.М., Глумов В.М. "Уравнения движения и управление свободнолетающим космическим роботом", Автоматика и телемеханика, 1, 80-98 (2010)
4. Рутковский В.Ю., Суханов В.М., Глумов В.М. "Управление многорежимным космическим роботом при выполнении манипуляционных операций во внешней среде", Автоматика и телемеханика, 11, 84-99 (2010)
5. Лапшин В.В. "Управление движением робота в условиях невесомости", Известия РАН. ТиСУ, 1, 161-167 (2017).
6. Lapshin V.V. "Robot Motion Control in Zero-Gravity Conditions", J. Computers and System Sciences International, 56 (1), 157-163 (2017)

ABOUT A MOTION OF FREE-FLOATING SPACE ROBOT

G.K. Borovin*, V.V. Lapshin†

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

† *Bauman Moscow State Technical University, Russia*
e-mail: vladimir@lapshin.net

The problem of motion control of free-floating space robot plane was investigated. The robot consists of a body and a telescopic manipulator arm. The robot is in a state of passive flight, i.e. does not have (or does not use) engines, which allow to control the movement of space robot. When controlling the movement of the robot, used engines only in the degrees of freedom of manipulator arm. The movement of the manipulator arm relative to the body of the robot has a significant impact on the movement of space robot in virtue of theorems on change of amount of motion and kinetic moment about the center of mass [1 - 6]. It is assumed that the vector amount of movement and angular momentum of the robot about the center of mass is zero.

In contrast to earlier published results of [1- 4] we demonstrated that it is possible to provide movement of the robot gripper from an arbitrary initial to arbitrary final position inside the workspace and provide the desired (most comfortable for the job) the angle between by the manipulator arm and by the robot body in the final position.

Such solutions are endless. Moreover, among them there are solutions, which provide access to the end position of the gripper of the robot at a given (most useful for performing working operations) the value of the angle between the manipulator arm and the body of the robot.

Acknowledgements: this work was performed under support of RFBR grant № 16 01 00521.

References

1. Dubovsky S., Papadopoulos E. "The Kinematics, Dynamics, and Control of Free-Flying and Free-Floating Space Robotics Systems," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1993, 9 (5), 531-543 (1993)
2. Moosavian S. Ali A., Papadopoulos E. "Free-Flying robots in Space: an Overview on Dynamics Modelling, Planning and Control", J. Robotica, 25 (5), 537-547 (2007)
3. Rutkovskiy V. Yu., Sukhanov V. M., Glumov V. M. "Equations of motion and the control of free-flying space robot", Avtomatika i telemekhanika, 1, 80-98 (2010)
4. Rutkovskiy V. Yu., Sukhanov V. M., Glumov V. M., "Multimode control of a space robot when performing manipulation operations in the environment", Avtomatika i telemekhanika, 11, 84-99 (2010)
5. Lapshin V. V., "Motion control of a robot in zero gravity", Izvestia RAS, TiSU, 1, 161-167 (2017).
6. Lapshin V.V. "Robot Motion Control in Zero-Gravity Conditions", J. Computers and System Sciences International, 56 (1), 157-163 (2017)

**ИЗОЭНТРОПИЧЕСКИЕ "УДАРНЫЕ ВОЛНЫ" ПРИ ЧИСЛЕННОМ
МОДЕЛИРОВАНИИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ.**

С.Г.Моисеенко¹, Г.С.Бисноватый-Коган^{1,2},

¹*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

²*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ, Москва,
Россия*

moiseenko@iki.rssi.ru

Рассмотрена задача о сильных разрывах в решении уравнений газовой динамики в предположении изоэнтропичности, т.е. непрерывности энтропии на разрыве. Представлено сравнение решения для стандартной ударной волны, где используется условие непрерывности энергии на разрыве, и для изоэнтропической "ударной волны". Показано, что численное моделирование астрофизических задач, в которых встречаются ударные волны большой амплитуды (взрывы сверхновых, моделирование джетов), с использованием сохранения энтропии, вместо сохранения энергии, приводит к большим ошибкам при расчете ударных волн. Применение изоэнтропических уравнений газовой динамики допустимо только в случае, когда течение является в течении газа отсутствуют сильные разрывы решения, либо когда интенсивность ударных волн невелика и они не оказывают существенного влияния на течение..

Данная работа была выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-12-30016).

Литература:

1. Г.С.Бисноватый-Коган, С.Г.Моисеенко «Изоэнтропические «ударные волны» при численном моделировании в астрофизических задачах» *Астрофизика*, 59, 5-13 (2016)

**PROTOTYPE OF NEW ISON TELESCOPE TO IMPROVE THE COMPLETENESS
AND ACCURACY OF THE CATALOG OF SPACE OBJECTS**

I. Molotov^{1,2}, V. Voropaev¹, G. Borovin¹, A. Yudin¹, D. Ivanov², M. Tereshina¹, E. Pavlova¹

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

²*Small innovation enterprise «KIAM Ballistics-Service», Miusskaya sq. 4, Moscow, Russia
im62@mail.ru*

Interagency International Scientific Optical Network (ISON) represents one of largest systems specializing in observation of space objects. ISON provides permanent monitoring of the whole GEO region, regular surveying of the Molniya type orbits, and tracking of objects at GEO, GTO, HEO and LEO.

Few steps plan of the ISON network development have been finished. Currently ISON cooperates with 38 observation facilities of various affiliations with 90 telescopes in 15 countries. Six telescope subsets have been completed to the date.

Almost 19 millions measurements for about 5067 objects (2094 GEO, 2635 HEO and 338 MEO objects) have been collected in 2016. 339 new faint objects were discovered and 307 previously lost rediscovered in 2015, 550 new faint objects were discovered and 480 previously lost rediscovered in 2016. This means that catalog maintenance is stable for respectively bright objects only - faint objects are regularly lost and then rediscovered. Other problem of the KIAM catalog is connected with HEO objects that are observed in around apogee area mainly and therefore the accuracy of its orbits is not too high in average.

Therefore KIAM have been started the elaboration of new telescope for panoramic survey. The 10-element cluster of 40-cm aperture telescopes must provide common oblong field of view as 6x90 degree. It is planned that the optical barrier will be oriented along GEO orbit so that provide quasi-continuously observations of all GEO-object with small inclination.

Herewith significant part of other GEO-objects with brightness down to 17 star magnitude must cross this barrier during the night. Also it is expected that many HEO objects will be crossing this barrier in both apogee and perigee areas that will result the improving the accuracy of its orbits.

The prototype (6-elements cluster of 20-cm aperture telescope with common oblong field of view as 4.5x42 degree) is close to completion to verify the correctness of the implementation of new telescope idea.

МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ДЖЕТОВ

Торопина О.Д.¹, Бисноватый-Коган Г.С.¹, Моисеенко С.Г.¹, Беляев В.С.², Матафонов А.П.²

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия.

²Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Королев, Россия.

toropina@iki.rssi.ru

Мы провели численное МГД моделирование лабораторного эксперимента, имитирующего образование астрофизических струйных выбросов (джетов). Для описания процессов, происходящих с веществом мишени при мгновенном нагреве лазерным пучком и моделирования течения плазмы был выбран осесимметричная разностная схема с конечной проводимостью, основанная на методе локальных итераций (Жуков, Забродин и Феодоритова) и методе коррекции потоков, определены граничные и начальные условия. Для расчетов использовалась оригинальная программа, разработанная В.В. Савельевым (ИПМ РАН), которая была адаптирована и переработана нами для решения астрофизических задач.

Были исследованы несколько случаев: случай без магнитного поля, случай с внешним постоянным полоидальным магнитным полем, направленным перпендикулярно мишени и случай с ϕ -полем. Мы изучили картину течения вещества и сопоставили ее с экспериментом. Мы нашли распределение плотности вещества на различных расстояниях от мишени и в различные моменты времени, и исследовали возможные структуры вещества на поверхности детектора.

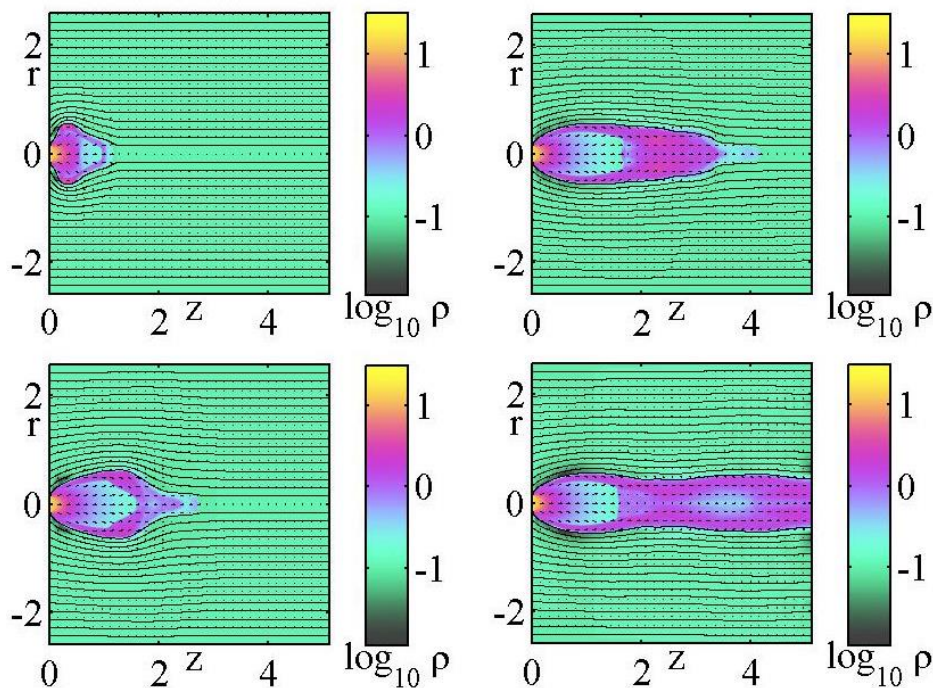


Рис. 1. Картина течения для лабораторного эксперимента с учетом магнитного поля

ISON ASTEROID SURVEY PROGRAM: CURRENT STATE AND FUTURE PROSPECTS

L. Elenin¹, I. Molotov¹, T. Schildknecht²

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

² *Astronomical Institute University of Bern, Sidlerstrasse 5, 3012, Bern, Switzerland*
l.elenin@gmail.com

ISON (International Science Observation Network) asteroid survey program started in September 2003 at Andrushivka astronomical observatory (MPC code: A50, Andrushivka, Ukraine).

Second phase of this work – using remotely controlled wide-field survey telescopes has begun in 2010 (ISON-NM observatory, MPC code: H15, USA). We used 0.45-m f/2.8 telescope with full-format CCD camera. This telescope was replaced in 2013 by new Santel-400AN (0.4-m f/3), which can be equipped by photometric filters for photometric study.

Second survey telescope (ISON-SSO observatory, MPC code: Q60, Australia) is a joint project with Astronomical Institute University of Bern. It's the ASA 16" Deltagraph, equipped with CCD camera, which similarly to camera installed at ISON-NM observatory. For now, ISON used this telescopes for regularly survey observations. Both observatories remotely controlled and all obtained data was processed at Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS (Moscow).

At now, both observatories (H15 and Q60) obtained more than 980,000 astrometric observations. Discovered more than 1,600 asteroids, include 14 NEO and 1 PHA (2015 LK24). Furthermore, discovered 5 comets (C/2010 X1 (Elenin), P/2011 NO1 (Elenin), P/2014 X1 (Elenin), P/2015 PD229 (Cameron-ISON) and C/2015 X4 (Elenin).

At ISON-NM observatory obtained dozens lightcurves, determined rotational period for more than 20 NEAs, include extremely close and fast rotators, such a 2012 KP24, 2012 KT42, 2012 LZ1, Duende (2012 DA14)[1] and 2015 HD1.

In near future ISON planned replace both survey telescope by new extremely large wide-field telescope 0.4-m f/1.25. With CCD cameras based on KAF-51000 chip, this telescope should have FOV 5.6x4.2 degrees, which dramatically increased our survey performance.

In addition to the two observatories, we will install third dedicated survey telescope 0.5-m f/2.4 at Altai region, Russia. After that, ISON practically cover all latitudes.

Besides upgrading a telescopes and CCD cameras we also improving our telescope controlling software and image processing pipeline, which also improve ISON asteroid survey program.

Acknowledgements: ISON greatly appreciate Astronomical Institute University of Bern for cooperation.

References:

1. Krugly Yu. Et al., “Results of near-Earth-asteroid photometry in the frame of the ASPIN programme, Asteroids, Comets, Meteors 2014” (2014)
2. Molotov I. et al., “ASPIN - Asteroid Research Project of the ISON Optical Network, Asteroids, Comets, Meteors 2012” (2012)
3. Elenin L., Molotov I., “Lightcurve Analysis of Extremely Close Near-Earth Asteroid - 2012 DA14”, The Minor Planet Bulletin (ISSN 1052-8091), Vol. 40, No. 4, p. 187-188 (2013)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ШАРНИРНО СВЯЗАННЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСОВ И МЕТОДА СОСТАВНЫХ ТЕЛ

Е.В. Страшнов, М.В. Михайлюк

ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», Москва, Россия
E-mail: trashnov_evg@mail.ru

В задачах и технологиях видеотренажеров часто необходимо моделировать широкий класс управляемых оператором роботов, механизмов и манипуляторов, которые могут взаимодействовать с виртуальным окружением. Тренировки на видеотренажерах позволяют повысить качество и скорость обучения операторов навыкам дистанционного управления реальными роботами. Поэтому разработка новых методов моделирования динамики многих тел, связанных шарнирами, является важной задачей.

Для моделирования динамики системы шарнирно связанных тел с учетом дополнительных ограничений (ограничения удара, контакта и трения звена системы тел с другими объектами, ограничение трения в шарнире и т.д.) предлагается использовать метод составных тел [1] и его различные вариации для обработки ограничений на основе импульсов [2]. Для реализации используемых методов разработан алгоритм, в котором задействована полуявная схема Эйлера для интегрирования уравнений движения относительно обобщенных координат, описывающих положение системы тел. В зависимости от способа вычисления импульсов выполнимость ограничений обеспечивается с помощью одного из двух подходов. Первый подход является более универсальным и аналогичен методу последовательных импульсов [3], когда каждое ограничение обрабатывается последовательно с вычислением и применением импульса. Во втором подходе составляется система уравнений и неравенств LCP (задача с линейными дополнениями) относительно всех неизвестных импульсов, для решения которой используется проекционный метод Гаусса-Зейделя. При этом каждая строка матрицы и элемент вектора LCP вычисляются независимо на GPU с использованием архитектуры CUDA. Для обеспечения масштаба реального времени моделирования, итерации предлагаемых методов для вычисления импульсов продолжают до тех пор, пока не истечет заданный пользователем квант времени.

Предложенные методы и алгоритмы были реализованы в подсистеме динамики имитационно-тренажерного комплекса, предназначенного для моделирования виртуальных роботов.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-37-00107 мол_а).

Литература:

1. R. Featherstone. Rigid Body Dynamics Algorithms. – Springer, 2008.
2. B. Mirtich. Impulse-based Dynamic Simulation of Rigid Body Systems. PhD Thesis. – Berkeley: University of California, 1996.
3. М.В. Михайлюк, Е.В. Страшнов. Моделирование системы связанных тел методом последовательных импульсов // Труды НИИСИ РАН. 2014, Т. 4. № 2. С. 52-60.

MULTIBODY DYNAMICS SIMULATION USING IMPULSES AND ARTICULATED BODY METHOD

E.V. Strashnov, M.V. Michaylyuk

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

E-mail: strashnov_evg@mail.ru

One of actual challenges of video simulators is simulation of wide class of operator-controlled robots, mechanisms and manipulators that can interact with a virtual environment. The video simulator trainings allow to improve the quality and rate of operator skills learning for real robot controlling. Therefore, the development of new methods of articulated dynamics simulation is an important task.

To simulate articulated multibody dynamics with additional constraints (impacts, contacts and frictions of multibody system with other objects, joint frictions, etc), it is proposed to use an articulated body method [1] and it's variants of constraint processing using impulses [2]. To implement these methods it is developed an algorithm involving semi-implicit Euler integration scheme for motion equations respect to generalized coordinates of multibody position. According to impulse calculation technique, the realization of constraints is provided by one of two approaches. First approach is more universal and similar to sequential impulses method [3], when each constraint is processed sequentially with impulse calculation and application. In second approach, it is formed a system of LCP (Linear Complementarity Problem) equations and inequalities respect to all unknown impulses which is solved by the Gauss-Seidel projection method. In this case, each LCP matrix row and vector unit are calculated independently on GPU using the CUDA architecture. To provide the simulation in real-time, iterations of proposed methods are processed until a user-defined time quantum is not expired.

Proposed methods and algorithms were implemented in the dynamics subsystem of the training complex designed for virtual robots simulation.

Acknowledgements: The work is done with support of RFBR (grant No 16-37-00107 mol_a).

References:

1. R. Featherstone, *Rigid Body Dynamics Algorithms*, New-Jork: Springer-Verlag (2008).
2. B. Mirtich, *Impulse-based Dynamic Simulation of Rigid Body Systems*, PhD Thesis, University of California, (1996).
3. M.V. Mikhaylyuk and E.V. Strashnov, “Simulation of articulated multibody system using sequential impulses method”, *Proceedings of SRISA RAS*, 4(2), 54-60 (2014).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ИМИТАЦИОННО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ

М.А. Торгашев, Д.А. Кононов

ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», Москва, Россия
E-mail: mix@niisi.ras.ru

В космических тренажерах часто требуется решать задачи изменения ориентации, стабилизации, коррекции орбиты, стыковки и посадки космического аппарата. Движение таких аппаратов осуществляется путем включения соответствующих реактивных двигателей, согласно управляющим командам, подаваемым на схему управления. Задача состоит в том, чтобы смоделировать динамику реактивного двигателя в виртуальной сцене на основе его параметров и параметров, поступающих из системы управления.

Для моделирования работы реактивного двигателя используются следующие параметры: максимальная сила тяги, расход топлива, скорость истечения газов из сопла, время непрерывной работы, минимальная и максимальная продолжительность одного включения, пауза между двумя включениями и т.д. Большинство двигателей, установленных на космических аппаратах, являются двигателями малой тяги, поэтому способны функционировать в двух режимах [1]: непрерывном и импульсном. При непрерывном режиме работы двигатель создает максимальную тягу F_{\max} на протяжении всего времени его работы. Импульсный режим характеризуется кратковременными включениями с некоторой частотой, определяемой системой управления. При моделировании динамики реактивного двигателя импульсный режим рассматривается как непрерывный с меньшей тягой равной $F = \tau_1 F_{\max} / \tau$, где τ_1 - продолжительность одного включения двигателя, τ - время между двумя последовательными включениями. Отношение $\gamma = \tau_1 / \tau \leq 1$, называемое скважностью, задается в системе управления. В некоторых типах реактивных двигателей существует возможность уменьшения тяги с коэффициентом $0 < k \leq 1$ путем управления заслонкой для уменьшения расхода топлива. Тогда двигатель будет создавать тягу $F = \gamma k F_{\max}$. После учета сил тяги от всех реактивных двигателей вычисляются новые скорости космического аппарата на основе его массо-инерционных характеристик.

В рамках программного комплекса, разработанного в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, был создан модуль расчета динамики реактивного двигателя, а также модель пилотируемого корабля «Союз ТМА», включающая в себя 2 сближающе-корректирующих двигателей с тягой 4170 Н, 14 двигателей причаливания и ориентации с тягой 100 Н и 8 двигателей ориентации с тягой по 10 Н. Апробация разработанных методов на данной модели показала их применимость в космических имитационно-тренажерных комплексах.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-07-01104).

Литература:

1. Б.В. Раушенбах, Е.Н. Токарь. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Наука, 1974. – 600 с.

SIMULATION OF JET ENGINE DYNAMICS IN TRAINING COMPLEXES

M.A. Torgashev, D.A. Kononov

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

E-mail: mix@niisi.ras.ru

In space simulators it is often necessary to solve spacecraft problems of attitude control, stabilization, orbit correction, docking and landing. The movement of such spacecrafts is performed by activation of the relevant jet engines, according to the control commands submitted to the control circuit. The objective is to simulate jet engine dynamics in virtual scene based on jet's parameters and parameters incoming from the control system.

To simulate a jet engine following parameters are used: maximal engine thrust, fuel consumption, velocity of gas outflow from a nozzle, time of continuous operation, minimal and maximal duration of one activation, pause between two starts, etc. Most of engines installed on spacecrafts are low-thrust engines with dual operation mode: continuous and pulsed [1]. In continuous operation mode the engine creates maximal engine thrust F_{\max} throughout its operation time. Pulsed operation mode is described by short duration activations with a certain frequency determined by the control system. Simulation of jet engine dynamics in pulsed operation is considered as continuous with lower thrust $F = \tau_1 F_{\max} / \tau$, where τ_1 is the duration of one engine activation, τ is the time between two successive starts. The ratio $\gamma = \tau_1 / \tau \leq 1$, called the pulse duty cycle, is defined in the control system. In some types of jet engines there is a possibility of reducing engine thrust with a coefficient $0 < k \leq 1$ by controlling a valve to reduce fuel consumption. Then the engine will create thrust $F = \gamma k F_{\max}$. After accounting engine thrusts for all jet engines, new velocities of spacecraft are calculated based on its mass properties.

In the software, developed in SRISA RAS, there were created a jet engine dynamics calculation module and 3D model of manned spacecraft Soyuz TMA including 2 vernier engines with a thrust of 4170 N, 14 berthing and orientation engines with a thrust of 100 N and 8 orientation low-thrust engines of 10 N. Approbation of developed methods on this model has shown their applicability in space training complexes.

Acknowledgements: The work is done with support of RFBR (grant No 16-07-01104).

References:

1. B.V. Raushenbah and E.N. Tokar, *Spacecraft attitude control*, Moscow: Science, 600 p. (1974).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИИ И ВЕТРА НА СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА GPU

А.В. Мальцев, П.Ю. Тимохин

*ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», Москва, Россия
E-mail: avmaltcev@mail.ru*

Широким классом важных с точки зрения правильного восприятия окружающей среды объектов являются динамические объекты, не имеющие четких геометрических границ, например, струи жидкости, падающий снег, дождь, песчаные бури и т.д. Такие объекты состоят из огромного количества мелкогабаритных элементов и обычно моделируются в виртуальном пространстве с помощью систем частиц [1]. Также как и другие объекты реального мира, данный класс объектов подвержен воздействию множества внешних сил, в том числе имеющих природное происхождение. Особенно важными среди них, с точки зрения моделирования в тренажерных системах и системах виртуальной реальности, являются гравитационная сила, а также сила, оказываемая движением воздушных масс – ветром.

Ранее в [2] нами были предложены решения по реализации в трехмерных виртуальных сценах многоэлементных систем частиц с использованием современных графических процессоров компании NVIDIA, основанные на двухэтапной обработке таких систем в процессе формирования изображения каждого кадра. Первый этап заключается в вычислении с использованием архитектуры параллельных вычислений CUDA состояния системы в заданный момент времени в виде массива данных о частицах. На этом этапе производится формирование новых частиц и расчет текущих параметров уже существующих, а также удаление частиц, время жизни которых истекло. Второй этап предполагает визуализацию полученного массива с синтезом «на лету» необходимой геометрии частиц, расчетом их освещенности и наложением текстур. Для его реализации задействован механизм шейдерной обработки.

На базе этих решений в данной работе созданы новые технологии, методы и алгоритмы моделирования в масштабе реального времени реалистичной динамики систем мелкогабаритных частиц с учетом воздействия на них гравитации и силы ветра. Вычисление силы и направления ветра в произвольных точках виртуальной сцены производится с использованием векторных полей, рассчитываемых в реальном времени на графическом процессоре с применением программно-аппаратных возможностей CUDA и шейдерной модели последнего поколения. Разработаны быстрые распределенные методы и алгоритмы, учитывающие несколько различных моделей движения воздушных масс (типов ветра) таких, как умеренный ветер, порыв ветра, вихрь и т.д.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ (грант № 16-07-00796).

Литература:

1. W.T. Reeves. Particle systems – a technique for modeling a class of fuzzy objects // In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH) . – 1983. – P. 359-376.
2. А.В. Мальцев. Реализация системы частиц в реальном времени на GPU // Программные продукты и системы. – 2014. – №4. – С. 57-62.

SIMULATION OF GRAVITATION AND WIND INFLUENCE ON PARTICLE SYSTEMS USING HIGH-PERFORMANCE GPU CALCULATIONS

A.V. Maltsev, P.Yu. Timokhin

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

E-mail: avmaltcev@mail.ru

Wide class of objects being important for correct perception of the environment is dynamic objects which don't have clear geometric boundaries, for example, fluid jets, falling snow, rain, sandstorms, etc. Such objects consist of a huge number of small-sized elements and usually are simulated in virtual space by particle systems [1]. As well as other real-world objects, this object class is subjected to influence of many external forces including natural ones. The gravitational force and force made by air mass movement (wind) are particularly important for simulation in training and virtual reality systems.

Earlier in [2], we proposed solutions for multi-element particle system implementation in 3D virtual scenes using modern NVIDIA graphics processors. They are based on two-stage processing of such systems during each frame image synthesis. The first stage is to calculate a state of the system at given time moment in the form of particle data array. It is performed using the CUDA parallel computing architecture. Creation of new particles, calculation of existing particles' parameters and removal of particles with expired lifetime are produced at this step. The second stage is to visualize obtained array with "on the fly" synthesis of necessary particle geometry, lighting calculation and texture mapping. To implement this stage, shader processing technique is involved.

At the work new technologies, methods and algorithms based on these solutions were created to simulate in real-time realistic dynamics of small-sized particle systems accounting for gravity and wind force influence on them. The calculation of wind force and direction at arbitrary points of virtual scene is performed using vector fields which are real-time calculated on graphics processor that supports software and hardware capabilities of CUDA and the latest generation of shader model. Fast distributed methods and algorithms taking into account several different models of air mass motion (wind types), such as breeze, gust, vortex, etc. were developed.

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 16-07-00796).

References:

1. W.T. Reeves. "Particle systems – a technique for modeling a class of fuzzy objects". *In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 359-376 (1983).
2. A.V. Maltsev. "Real-time particle system realization on GPU". *Software & Systems*, 4, 57-62 (2014).

МЕТОДЫ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ С ПОМОЩЬЮ ЖЕСТОВ

М.В. Михайлюк, А.В. Мальцев

*ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», Москва, Россия
E-mail: mix@niisi.ras.ru*

Одним из активно изучаемых сейчас методов управления робототехническими средствами является жестовый интерфейс. Его преимущество состоит в использовании эргономичных, интуитивных и естественных для человека поз и жестов. Для этих целей в основном используются руки оператора. Позу оператора можно определить [1] как некоторое положение его рук, характеризующееся совокупностью значений углов в суставах и состояния ладоней (сжаты в кулак или разжаты). Жест руки можно задать в виде целого числа $N > 1$ последовательно пройденных ею поз. Каждой позе или жесту рук сопоставляется некоторое активное звено робота, в котором осуществляется движение. Например, согнутая в локте левая рука означает выбор управления движением робота, а отведенная при этом в сторону правая рука означает поворот робота вправо.

Чтобы задать скорость и ускорение движения, нужно в зависимости от величины отклонения рук от стандартных положений вычислить управляющие сигналы, подаваемые на соответствующие электрические двигатели робота и обеспечивающие движение робота. Вычисление производится с помощью некоторой функциональной схемы. Для создания таких схем разработан специальный визуальный редактор [2] с большой библиотекой функциональных блоков, которые можно располагать в его рабочем поле и соединять между собой. Оставшиеся свободными входы блоков служат входами функциональной схемы, принимающими идентификаторы поз и жестов, а также углы в сочленениях. Оставшиеся свободными выходы – выходы схемы, на которых будут вычислены управляющие сигналы.

Вид конкретной схемы зависит от функциональной нагрузки управляющего жеста. Если жест определяет только действие, а ускорение этого действия фиксировано, то схема должна синтезировать 1 (начать действие) или 0 (прекратить действие). В случае задания жестом также величины ускорения данного действия, функциональная схема вырабатывает управляющий сигнал в виде напряжения, подаваемого на электрический двигатель робота для развития в нем требуемого ускорения.

Апробация предложенных методов синтеза управляющих сигналов для реализации жестового интерфейса производилась с использованием устройства Kinect в рамках разработанного в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН комплекса, включающего системы управления, динамики и визуализации. Результаты апробации показали адекватность предложенных методов требованиям к системам управления роботами в тренажерных системах.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ (грант № 15-07-04544).

Литература:

1. А.В. Мальцев, М.В. Михайлюк, П.Ю. Тимохин. Методы жестового управления трехмерными объектами и параметрами виртуальной среды с помощью Kinect // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – №3(19). – С. 147-156.
2. М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев. Визуальный редактор и модуль расчета функциональных схем для имитационно-тренажерных комплексов // Программные продукты и системы. – 2014. – №4. – С. 10-15.

CONTROL SIGNAL SYNTHESIS METHODS FOR ROBOT MANAGEMENT BY USING GESTURES

M.V. Mikhaylyuk, A.V. Maltsev

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

E-mail: mix@niisi.ras.ru

Currently, one of actively studied methods of robotics device control is a gesture interface. Its advantage is in using postures and gestures which are ergonomic, intuitive and natural for humans. For these purposes, operator's hands are mainly used. The posture of an operator can be determined [1] as some position of his hands, characterizing by a set of angle values in joints and states of hand palms (clenched to fist or unclenched). Hand gesture can be given as whole number N of consecutively passed postures, where $N > 1$. Every hand posture or gesture is associated to some active robot link in which movement is carried out. For example, left hand bent at the elbow means a choice of robot motion control. Wherein right hand diverted to the side means robot rotation to the right.

To set movement speed and acceleration, it is necessary to calculate control signals depending on the amount of hand deviation from standard position and transmit them to corresponding electrical engine that provide robot motion. The computation is performed with using a certain functional scheme. To create such schemes, special visual editor has been developed [2] with a large library of function blocks that can be placed in its working field and connected to each other. Remained free block inputs are functional scheme inputs which take identifiers of postures and gestures and also angles in joints. Remained free outputs are the scheme outputs which control signals will be calculated on.

The type of a particular scheme depends on functional load of control gesture. If a gesture only defines the action and acceleration of this action is constant, the scheme must generate 1 (start the action) or 0 (stop the action). When a gesture also defines a value of acceleration for the action, functional scheme generates control signal in the form of voltage transmitted to robot's electrical engine for providing necessary acceleration to it.

The approbation of control signal synthesis methods, proposed at this work for gesture interface implementation, was carried out using Kinect device and software complex developed at SRISA RAS, which includes control, dynamics and visualization systems. Results of this approbation showed the adequacy of proposed methods to requirements for robot control systems in training complexes.

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 15-07-04544).

References:

1. A.V. Maltsev, M.V. Mikhaylyuk and P.Yu. Timokhin. “Gesture control methods for three-dimensional objects and virtual environment settings using Kinect”, *Models, systems, networks in economics, technics, nature and society*, 3(19) , 147-156 (2016).
2. M.V. Mikhaylyuk and M.A. Torgashev. “The visual editor and calculation module of block diagrams for simulation and training complexes”, *Software & Systems*, 4, 10-15 (2014).

ФРАГМЕНТЫ ДИНАМИКИ ЕДИНИЧНОГО ДИСКА И СТАТИКА СФЕРЫ РИМАНА

Жарко Павићевић^{1, 2}

¹ Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro;

² National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
e-mail: zarkop@ac.me

Комплексный анализ является математической дисциплиной, которая породила многие современные математические дисциплины и теории, таких как: теория римановых поверхности, математический анализ на многообразиях, теория предельных множеств, теория нормальных семейств функций, теория фракталов, алгебраической геометрии, теории пространств функций и т.д. Она также нашла применение практически во всех математических дисциплинах и многих естественных и технических наук. Это подтверждается научной литературе всех этих наук и дисциплин.

Основной объект который изучается в комплексном анализе - голоморфные (аналитические) функции, отображающие различные области комплексной плоскости или сферы Римана на сферу Римана ([1]).

В этом докладе будем рассматривать вопрос о том, почему теория голоморфных функций, определенных на единичном диске динамически развивалась и развиваться, хотя такая ситуация не существует для голоморфных функций, определенных на сфере Римана.

Динамика теории голоморфных функций на единичном диске опирается на динамическую структуру диска. Эта структура в основном состоит из гиперболической метрики модели Пуанкаре геометрии Лобачевского и голоморфной динамике преобразования Мёбиуса ([2], [3]). Здесь мы представим основные элементы этих структур и покажем, приводя несколько примеров (фрагментов) того, как они влияют на богатство исследований голоморфных функций.

На сфере Римана не может развиваться в этом смысле теория голоморфных функций. Почему? Это является прямым следствием теоремы Лиувилля для целых функций. В самом деле, голоморфные функции, определенные на сфере Римана, являются постоянными. Дадим новое доказательство этой теоремы.

Литература

1. А. И. Маркушевич, «Теория аналитических функций», ГИТТЛ, М, (1950).
2. Дж. Милнор, «Голоморфная динамика», Ижевск: R&C Dynamics, (2000).
3. А. F. Verdon, «The Geometry of Discrete Groups», Springer-Verlag, (1983).

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ АЭРОДИНАМИКИ
РАЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ ГАЛЁРКИНА
НА РАЗЛИЧНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АРХИТЕКТУРАХ**

Краснов М.М.¹, Кучугов П.А.^{1,2}, Ладонкина М.Е.^{1,2}, Тишкин В.Ф.^{1,2}

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

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

kmm@iam.ru, pkuchugov@gmail.com, ladonkina@imatod.ru, v.f.tishkin@mail.ru

Как известно, при численном решении прикладных задач аэродинамики возникает необходимость использования численных методов высокой точности. Это особенно актуально для решения сложных разномасштабных задач, в которых получить решение только измельчением сетки и методами первого порядка точности недостаточно. Примером метода, обеспечивающего высокую точность, является метод Галеркина с разрывными базисными функциями[1]. Однако, разрывный метод Галеркина обладает существенной вычислительной сложностью, поэтому при его применении встает вопрос о максимально эффективном использовании всех возможностей современной вычислительной техники. Динамика развития высокопроизводительной вычислительной техники диктует создание программных комплексов, сравнительно легко адаптируемых для работы на различных гибридных параллельных архитектурах. Авторами был разработан принципиально новый подход к программированию задач математической физики, позволяющий компактно записывать и эффективно реализовывать математические формулы, в частности, за счет введения понятия «сеточного оператора», аналогичного математическому, единообразно реализовывать подход на разных типах сеток и для различных вычислительных архитектур[2,3]. На основе сеточно-операторного подхода к программированию был разработан программный комплекс, реализующий разрывный метод Галеркина на неструктурированных тетраэдральных сетках [4], который показал свою эффективность для численного моделирования задач аэродинамики.

Благодарности: Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ гранты № 17-01-00361_A и №16-01-00333.

Литература:

1. B. Cockburn, “An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations (Lecture Notes in Mathematics)”, 1697, 151-268 (1998).
2. М.М. Краснов, “Операторная библиотека для решения многомерных задач математической физики на CUDA” Математическое моделирование, 27 (3), 109-120 (2015).
3. М.М. Краснов, П.А. Кучугов, М.Е. Ладонкина, В.Ф. Тишкин, “Разрывный метод Галеркина на трехмерных тетраэдральных сетках. Использование операторного метода программирования”, Математическое моделирование, 29 (2), 3-22 (2017)
4. M M Krasnov, P. A. Kuchugov, M. E. Ladonkina, A. E. Lutsky, V. F. Tishkin, “Numerical solution of the Navier-Stokes equations by discontinuous Galerkin method Journal of Physics”, Conference Series, 815 (1), (2017)

APPLICATION OF DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD FOR MODELING OF AERODYNAMIC PROBLEMS ON VARIOUS PARALLEL ARCHITECTURES

Krasnov M.M.¹, Kuchugov P.A.^{1,2}, Ladonkina M.E.^{1,2}, Tishkin V.F.^{1,2}

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Russia, Moscow, Miusskaya Sq., 4*

²*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk*

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

It is well known that applied aerodynamic problems when solved numerically require the usage of high accurate numerical methods. This is especially true for solving complex different-scale problems, in which it is not enough to obtain a solution by grinding the grid and using first-order accurate methods. As an example of a method that provides high accuracy let's discuss the Discontinuous Galerkin method [1]. However, the Discontinuous Galerkin method has a significant computational complexity. So the usage of this method requires maximizing the use of all the possibilities of modern computer technology. The dynamics of the development of high-performance computing technology dictates the creation of software complexes that are relatively easy adaptable for work on various hybrid parallel architectures. The authors have developed a fundamentally new approach to programming problems in mathematical physics that allows you to compactly write and effectively implement mathematical formulas, in particular, by introducing the concept of "grid operator", similar to mathematical, to implement the approach on different types of grids and for various computing architectures [2,3]. Based on the grid-operator programming approach, a software package was developed that implements the Discontinuous Galerkin method on unstructured tetrahedral grids [4], which showed its effectiveness for numerical simulation of aerodynamic problems.

Acknowledgements: The work was partially supported by RFBR under research projects No.14-01-00145 and 16-01-00333.

References:

1. B. Cockburn, "An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations (Lecture Notes in Mathematics)", 1697, 151-268 (1998).
2. M.M. Krasnov, "Operator library for solving multidimensional mathematical physics problems on CUDA" *Matem. Mod.*, 27 (3), 109-120 (2015).
3. M. M. Krasnov, P. A. Kuchugov, M. E. Ladonkina, V. F. Tishkin, "Discontinuous Galerkin method on three-dimensional tetrahedral meshes. The usage of the operator programming method", *Matem. Mod.*, 29 (2), 3-22 (2017).
4. M. M. Krasnov, P. A. Kuchugov, M. E. Ladonkina, A.E. Lutsky, V. F. Tishkin, "Numerical solution of the Navier-Stokes equations by discontinuous Galerkin method" *Journal of Physics: Conference Series*, 815 (1), (2017)

**ПОСТРОЕНИЕ ЛИМИТЕРОВ ПОВЫШЕННОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ
ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
РАЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ ГАЛЁРКИНА**

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

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

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

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

Для решения задач газовой динамики широко применяется метод Галеркина с разрывными базисными функциями, который характеризуется высоким порядком точности получаемого решения. Как известно, помимо множества преимуществ применения разрывного метода Галеркина, он, имеет некоторые сложности реализации. Так, 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. Наиболее широко используемым, является классический лимитер Кокбурна [1]. Идея данного лимитера легко реализуется в многомерном случае на сетках произвольной структуры. К сожалению, данный лимитер снижает точность получаемого решения [2,3]. Поэтому вопрос сохранения порядка точности решения и обеспечения монотонности решения в настоящий момент остается актуальным. В данной работе рассмотрены хорошо зарекомендовавший себя сглаживающий оператор на основе WENO реконструкции [4] и сглаживающий оператор нового типа, учитывающий скорость изменения решения и скорость изменения его производных.

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

Литература:

1. B. Cockburn, An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations (Lecture Notes in Mathematics), Vol. 1697, 151-268 (1998).
2. М.Е.Ладонкина, О.А.Неклюдова, В.Ф.Тишкин, Исследование влияния лимитера на порядок точности решения разрывным методом Галеркина, Математическое моделирование 2012. т.24. N12.
3. М.Е.Ладонкина, О.А.Неклюдова, В.Ф.Тишкин, Использование разрывного метода Галеркина при решении задач гидродинамики, Математическое моделирование 2014. т.25. N1, 17-32
4. X.Zhong, Chi-Wang Shu, A simple weighted essentially nonoscillatory limiter for Runge-Kutta discontinuous Galerkin methods, Journal of Computational Physics, V.232, Is., 2013, Pp.397-415

CONSTRUCTION OF HIGH ORDER LIMITERS FOR DISCONTINUOUS GALERKIN METHOD

Ladonkina M.E.^{1,2}, Neklyudova O.A.¹, Tishkin V.F.^{1,2}

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Russia, Moscow, Miusskaya Sq., 4*

²*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Novosibirsk*

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

Discontinuous Galerkin method is widely used to solve gas dynamics problems. This method uses discontinuous basis functions which allows it maintain a high order of accuracy of the solution. Despite all the benefits of using Galerkin method, it requires some tricky implementation. So to ensure the smoothness of the solution it is necessary to use so called limiters especially when the solution contains discontinuities. The most popular limiter is the one described by Cockburn in [1]. This limiter can be easily developed on multidimensional grids with arbitrary structure. Unfortunately it reduces the accuracy of the solution [2,3]. Thereby the vital goal is to keep the order of accuracy of the solution. In this paper we review two different methods. The first one is well proved smoothing operator based on WENO reconstruction [4]. The other one is a new smoothing operator which takes into account the speed of change of solution and it's derivatives.

Acknowledgements: The research was performed under financial support of Russian Science Foundation, grant No. № 16-11-10033.

References:

1. B. Cockburn, An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems, Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations (Lecture Notes in Mathematics), Vol. 1697, 151-268 (1998).
2. M. E. Ladonkina, O. A. Neklyudova, V. F. Tishkin, Research of the impact of different limiting functions on the order of solution obtained by RKDG, *Matem. Mod.*, **24**:12 (2012), 124–128; *Math. Models Comput. Simul.*, **5**:4 (2013), 346–349
3. M. E. Ladonkina, O. A. Neklyudova, V. F. Tishkin, Application of the RKDG method for gas dynamics problems, *Matem. Mod.*, **26**:1 (2014), 17–32; *Math. Models Comput. Simul.*, **6**:4 (2014), 397–407
4. X.Zhong, Chi-Wang Shu, A simple weighted essentially nonoscillatory limiter for Runge-Kutta discontinuous Galerkin methods, *Journal of Computational Physics*, V.232, Is., 2013, Pp.397-415

АДАПТИВНЫЙ АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МНОГОСЕТОЧНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ ДИФФУЗИИ

В.Т. Жуков¹, О.Б. Федоритова¹, Н.Д. Новикова¹

¹ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
Москва, Россия
e-mail: zhukov@iam.ru

Представлен адаптивный алгебраический многосеточный метод (АММ) [1] для численного решения трехмерного уравнения диффузии. Ключевыми элементами метода являются две адаптивные процедуры сглаживания на основе оптимальных многочленов Чебышева. Показаны возможности автоматической адаптации сглаживателей к границам дискретных операторов АММ. Обсуждаются свойства этих сглаживателей, один из которых является операторным полиномом, другой – рациональной функцией. Приводятся результаты экспериментальной проверки. Реализация сглаживателей и алгоритма решения уравнений на самом грубом уровне явно-итерационными схемами обеспечивает параллельную эффективность метода. Многосеточные методы являются масштабируемыми или оптимальными, так как позволяют решать линейные системы с N неизвестными за $O(N)$ операций, то есть можно при росте N получать решение за постоянное время при условии пропорционального роста числа процессоров компьютера. Отметим, что многие известные итерационные методы не масштабируются. Однако, трехмерные задачи диффузии с анизотропными разрывными коэффициентами являются трудными для многих методов, включая многосеточный. Для демонстрации работоспособности АММ рассмотрим тест [2]. Расчетная область – единичный куб – разбит на четыре подобласти Ω_i , $i = 1, \dots, 4$:

$$\Omega_1 = \{(x, y, z) : y \leq 0.5, z \leq 0.5\}, \quad \Omega_2 = \{(x, y, z) : y > 0.5, z \leq 0.5\}, \\ \Omega_3 = \{(x, y, z) : y > 0.5, z > 0.5\}, \quad \Omega_4 = \{(x, y, z) : y \leq 0.5, z > 0.5\}.$$

Тензор диффузии $k(x, y, z) = \text{diag}\{k_x^i, k_y^i, k_z^i\}$ и точное решение имеют вид: $k_x^i = 1$, $k_y^1 = 10$, $k_y^2 = 0.1$, $k_y^3 = 0.01$, $k_y^4 = 100$, $k_z^1 = 0.01$, $k_z^2 = 100$, $k_z^3 = 10$, $k_z^4 = 0.1$ и $u(x, y, z) = \alpha_i \sin(2\pi x) \sin(2\pi y) \sin(2\pi z)$ с $\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 10, \alpha_3 = 100, \alpha_4 = 0.01$.

В расчетах по последовательности сеток получено подтверждение, что адаптация сглаживателей и решателя грубых уравнений обеспечивает желаемую скорость сходимости алгебраического многосеточного алгоритма вида [3].

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 14-21-0025-П.

Литература:

1. В.Т. Жуков, М.М. Краснов, Н.Д. Новикова, О.Б. Федоритова. “Алгебраический многосеточный метод с адаптивными сглаживателями на основе многочленов Чебышева”. Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 113 (2016)
2. R. Eymard et al. “3D Benchmark on Discretization Schemes for Anisotropic Diffusion Problems on General Grids”. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00580549/document>. (2011)
3. J.W. Ruge, K. Stuben. “Algebraic Multigrid (AMG).” Multigrid Methods, Frontiers in Applied Mathematics (ed. S.F. McCormick). SIAM, Philadelphia, 73-130 (1987)

ADAPTIVE ALGEBRAIC MULTIGRID METHOD FOR THREE-DIMENSIONAL DIFFUSION EQUATIONS

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

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia
e-mail: zhukov@kiam.ru*

We propose an adaptive algebraic multigrid method (AMG) [1] for numerical solution of three-dimensional diffusion equation. The key elements of the method are two adaptive smoothing procedures based on optimal Chebyshev polynomials. The possibilities of automatic adaptation to the bounds of the AMG discrete operators are shown. The properties of these smoothers, the polynomial and the rational function, are discussed. The results of verification of the AMG are given. Effective implementation of the smoothers and the coarse equation solver with the help of Chebyshev explicit-iterative algorithms enables the functioning of the code on parallel machines. Multigrid methods are so-called scalable or optimal methods because these methods can solve a linear system with N unknowns with only $O(N)$ work. This property makes it possible to solve ever larger problems on proportionally larger parallel machines in constant time. Many classical well-known iterative methods are not scalable. Three-dimensional diffusion problems with anisotropic discontinuous coefficients are difficult for many methods including the multigrid. To demonstrate robustness of the adaptive AMG we consider the benchmark [2] for 3D anisotropic diffusion.

The unit cube $\Omega \equiv [0; 1]^3$ is split into four subdomains Ω_i , $i = 1, \dots, 4$, which are given by

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \{(x, y, z) : y \leq 0.5, z \leq 0.5\}, & \Omega_2 &= \{(x, y, z) : y > 0.5, z \leq 0.5\}, \\ \Omega_3 &= \{(x, y, z) : y > 0.5, z > 0.5\}, & \Omega_4 &= \{(x, y, z) : y \leq 0.5, z > 0.5\}.\end{aligned}$$

The diffusion tensor $k(x, y, z) = \text{diag}\{k_x^i, k_y^i, k_z^i\}$ and the exact solution are given by $k_x^i = 1$, $k_y^1 = 10$, $k_y^2 = 0.1$, $k_y^3 = 0.01$, $k_y^4 = 100$, $k_z^1 = 0.01$, $k_z^2 = 100$, $k_z^3 = 10$, $k_z^4 = 0.1$ and $u(x, y, z) = \alpha_i \sin(2\pi x) \sin(2\pi y) \sin(2\pi z)$ with $\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 10, \alpha_3 = 100, \alpha_4 = 0.01$.

In the computations on the sequence of the grids we obtain the confirmation that the adaption of the smoothers and the coarse equation solver provides good improvement in the convergence rate of the algebraic multigrid algorithm [3].

Acknowledgements: This work is supported by RSCF project № 14–21–0025–II.

References:

1. V. T. Zhukov, M. M. Krasnov, N.D. Novikova, O.B. Feodoritova. “Algebraic Multigrid Method with adaptive smoothers based on Chebyshev polynomials”. Keldysh Institute preprints, 113, (2016)
2. R. Eymard et al. “3D Benchmark on Discretization Schemes for Anisotropic Diffusion Problems on General Grids”. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00580549/document>. (2011)
3. J.W. Ruge, K. Stuben. “Algebraic Multigrid (AMG)”. Multigrid Methods, Frontiers in Applied Mathematics (ed. S.F. McCormick). SIAM, Philadelphia, 73–130 (1987)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЙ В ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

О.Б. Феодоритова¹, Н.Д. Новикова¹, В.Т. Жуков¹

¹*Институт Прикладной Математики им. М.В.Келдыша, Российская Академия Наук
Москва, Россия
e-mail: feodor@kiam.ru*

Рассматриваются результаты численного моделирования многокомпонентной химически активной среды в камере сгорания высокоскоростного аппарата [1]. Для проведения численных экспериментов был использован открытый программный комплекс OpenFOAM. Расчеты течений газовой смеси проводятся на основе системы осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса с введением дополнительных членов и уравнений для учета эффектов турбулентности и горения. Для описания турбулентности использована SST-модель Ментера. На входе в канал задается сверхзвуковой поток подогретого воздуха, содержащий продукты сгорания углеводородного топлива. Число Маха в ядре потока $M \sim 2.5$. В середине изолятора располагаются инжекторы углеводородного топлива.

Мы использовали трехстадийную технологию. Сначала формируются газодинамические поля в рамках модели идеального газа на основе решателя sonicFoam. Второй этап начинается после установления решения. На этом этапе включается впрыск топлива, а решение, полученное на первом этапе, принимается в качестве начального приближения. Модель идеального газа заменяется на модель многокомпонентного химически реагирующего газа (решатель reactingFoam). После повторного установления решения начинает работать процедура дросселирования. Одновременно включаются модель горения и инициализируются все реакции. Для обеспечения зажигания смеси использовано кратковременное запираение канала потоком сжатого воздуха, подача которого осуществляется поперек основного потока с помощью пневмодросселя.

Предлагаемая работа посвящена моделированию и анализу режимов работы модельной камеры сгорания, реализуемые при изменении значения интегрального коэффициента избытка воздуха.

Результаты получены с использованием параллельной реализации пакета OpenFOAM на суперкомпьютере К-100 и показывают принципиальную возможность моделирования высокоскоростных течений нереагирующих и реагирующих высокоскоростных течений в двумерной постановке с верификацией расчетов демонстрацией сходимости приближенных решений при измельчении сетки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № I.33П.

References:

1. И.Г.Гудич, В.В.Власенко, В.Т.Жуков, К.В.Мануковский, Н.Д.Новикова, Ю.Г.Рыков, О.Б. Феодоритова. О расчетах модельной высокоскоростной камеры сгорания // Горение и взрыв. V. 9, № 3, 57–85 (2016)

NUMERICAL SIMULATION OF FLOW REGIMES IN HIGH-SPEED COMBUSTION CHAMBER

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

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia
e-mail: feodor@kiam.ru*

We present the results of numerical simulations of multi-component reacting flows in high-speed combustion chamber [1] which is a key part of the model ramjet engine. Ramjets are the air-breathing engines working at high supersonic speeds. The flow simulation software OpenFOAM is used. Computations are based on the time-averaged compressible Navier-Stokes equations with the turbulence SST model. In the inlet of the chamber, heated air-hydrocarbon mixture (combustion products) is blown. The Mach number in the core of the stream is about 2.5. A few injectors of hydrocarbon fuel are mounted in the entrance of the chamber.

We use the three-stage technique. First, ideal gas flow is computed by the sonicFoam solver. The second stage begins after achieving the steady-state solution. At this stage, fuel injection is activated, and the solution obtained in the first stage is adopted as the initial approximation. Instead of the ideal gas model it is used a model of a multicomponent chemically reacting gas (reactingFoam solver). After re-establishing the solution, the combustion model is switched on and all chemical reactions are initialized.

In connection with this three-stage technique we study high speed flow structures inside the chamber in three regimes: the ideal gas flow, multicomponent (air-hydrocarbon mixture) gas flow without combustion, and flow with intensive combustion process. To ensure the ignition of the mixture, a short-term locking of the channel by a compressed air stream is used, the supply of which is carried out across the main flow by means of a pneumatic hub.

The proposed work is devoted to numerical simulation and analysis of the combustion modes in the chamber with respect to such important parameter as the integral excess-air factor. As a result of numerical simulation we observe some pulsation regimes of combustion.

The results are obtained by running OpenFOAM in parallel on the supercomputer K-100 and they show the principal possibility of the use of this package for the numerical simulation of high-speed flows of both non-reacting and reacting multicomponent mixtures in the model ramjet engine. In this way, we have received a confirmation of the efficiency of the three-step computation procedure based on OpenFoam numerical methodology (with few necessary modifications), and have specified the needed solvers, the sequence of their application, the level of the grid refinement.

Acknowledgements: This work is supported by Program of Presidium of Russian Academy of Sciences № I.33II.

References:

1. O.B. Feodoritova, I.G. Gudich, V.V. Vlasenko, V.T. Zhukov, K.V. Manukovsky, N.D. Novikova, Yu.G. Rykov. On calculations of a model high-speed combustor // Combustion and Explosion [Gorenie i vzryv (Moskva)]. Vol. 9, № 3, 57–85 (2016)

**ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПОЕНЦИАЛА q И
ФУНКЦИИ ЗАДЕРЖКИ α .**

Никола Михаљевић

Универзитет Черногории, Морской факультет Котор, Черногория

nikolamih@ac.me

В этой статье мы исходим из тождества

$$\begin{aligned} & \int_0^\pi q(t_1) \cos z(\pi - t_1 + \alpha(t_1)) dt_1 = \\ & = A_c^+(z) - \sum_{l=2}^{\infty} \frac{1}{z^{l-1}} \int_{D_l} Q(T_l) P(T_l, z) \cos z(\pi - t_1 + \alpha(t_1)) dT_l \\ & \int_0^\pi q(t_1) \cos z(\pi - t_1 - \alpha(t_1)) dt_1 = \\ & = A_c^-(z) - \sum_{l=2}^{\infty} \frac{1}{z^{l-1}} \int_{D_l} Q(T_l) P(T_l, z) \cos z(\pi - t_1 - \alpha(t_1)) dT_l \\ & \int_0^\pi q(t_1) \sin z(\pi - t_1 + \alpha(t_1)) dt_1 = \\ & = A_s^+(z) - \sum_{l=2}^{\infty} \frac{1}{z^{l-1}} \int_{D_l} Q(T_l) P(T_l, z) \sin z(\pi - t_1 + \alpha(t_1)) dT_l \\ & \int_0^\pi q(t_1) \sin z(\pi - t_1 - \alpha(t_1)) dt_1 = \\ & = A_s^-(z) - \sum_{l=2}^{\infty} \frac{1}{z^{l-1}} \int_{D_l} Q(T_l) P(T_l, z) \sin z(\pi - t_1 - \alpha(t_1)) dT_l \end{aligned}$$

которые появляются как тождества в статье [2]. Эти тождества мы использовали для формирования интегральных уравнений для неизвестных функций, которые зависят от потенциала q и функций задержки α .

Литература

1. Н.Михаљевић, “Асимптотика собственных значений оператора типа Штурм-Лиувиля с переменным запаздыванием”, *Mathematica Montisnigri*, Vol XXVIII, 5-16 (2013).
2. Н.Михаљевић, “Анализ прямой спектральной задачи и установка обратной задачи для оператора Штурм-Лиувиля”, *Mathematica Montisnigri*, Vol XXXIV, 13-24 (2015)

SEMISIMPLE n -ARY BIALGEBRAS AND ONE-DIMENSIONAL MODULES

V.A. Artamonov¹, B. Zekovich²

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

e-mail : artamon@mech.math.msu.su

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

e-mail: biljanaz@t-com.me

In this paper, we apply semisimple decomposition of some irreducible modules over n -ary bialgebra for investigation of comultiplication in it. It is described one-dimensional summands of tensor n -ary degree. It is assumed do have only one irreducible module of dimension $d > 1$.

Besides, there is found an explicit form of one-dimensional submodules in tensor-products. At the end, it is given an example of n -ary bialgebra.

Reference

1. B. Zekovich, "Initial consideration about tensor product of irreducible modules over n -bialgebras, appear", International Conference «Mathematical and Information Technologies, MIT-2016», Vrnjacka Banja, Serbia – Budva, Montenegro, (2016).
2. B. Zekovich, "The properties of tensor-products of the irreducible modules over n -bialgebras, appear", XIV International Seminar Mathematical Model & Modeling in Laser-Plasma Processes & Advanced Science Technologies. Program, Abstracts and Lectures, Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia, pp. 119 (2016).
3. V.A. Artamonov, B. Zekovich, "Decomposition of tensor-products of irreducible modules over over n -bialgebras, appear", XV International Seminar Mathematical Model & Modeling in Laser-Plasma Processes & Advanced Science Technologies. Program and Abstracts. Petrovac, Montenegro, 70, (2016)
4. B. Zekovich, "Relations between n -ary and binary comodules", Quasigroups and Related Systems 23, 325-332 (2015)
5. B. Zekovich, " n -ary (co) modules over n -ary (co) algebras", Alg. and Disc. Math, 4, 80-89 (2008)
6. V. A. Artamonov, "On semisimple Hopf algebras with few representations of dimension greater than one", Union Matematica Argentina, 51 (2), 91-105 (2010).
7. V.A. Artamonov, "On semisimple finite-dimensional Hopf algebras", Mat. Sbornik, 198 (9), (2007)
8. S. Dascalescu, Nastasescu, S. Raianu, "Hopf algebras. An introduction", Pure and Applied Mathematics: a series of Monographs and Textbooks/235, Marcel Dekker, Inc, NY, BASEL, (2000).

SOME APPROXIMATION RESULTS IN PRIVALOV SPACES
ON THE UNIT DISK

Romeo Meštrović¹, Žarko Pavićević^{2,3}

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

e-mail: romeo@ac.me

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

³ National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

e-mail: zarkop@ac.me

For any fixed $p > 1$, the class N^p , introduced in 1941 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 . In 1977 M. Stoll introduced the d_p -metric topology on N^p , and showed that the space N^p with the topology given by this metric becomes an F -algebra. In the paper by R. Meštrović and Ž. Pavićević, from 1998, the authors proved the logarithmic version of famous Szego's theorem. More precisely, they proved a Szego-type theorem given in terms of “weighted” Stoll's d_p -metrics. For any given $p > 1$, here we prove a similar result for the “weighted” ρ_p -metric on the space N^p involving the usual maximal radial limit function of a function $f \in N^p$.

References

1. P.L. Duren, “Theory of H^p spaces”, Academic Press, New York, (1972).
2. P. Koosis, “Introduction to H^p spaces”, London Math. Soc. Lecture Note Series 40, Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1980).
3. R. Meštrović, “ F -algebras M^p ($1 < p < \infty$) of holomorphic functions”, The Scientific World Journal (subject area: Mathematical Analysis), 2014, Article ID 901726, 10 pages (2014).
4. R. Meštrović, “Maximal ideals in some F -algebras of holomorphic functions”, Filomat, 29 (1), 1-5 (2015).
5. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “The logarithmic analogue of Szego's theorem”, Acta Scientiarum Mathematicarum, 64, 97-102 (1998).
6. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “Weakly dense ideals in Privalov spaces of holomorphic functions”, Journal of the Korean Mathematical Society, 48, 397-420 (2011).
7. R. Meštrović, Ž. Pavićević, “A short survey of the ideal structure of Privalov spaces on the unit disk”, Math. Montisnigri, 32, 14-22 (2015).
8. N. Mochizuki, “Algebras of holomorphic functions between H^p and N_* ”, Proceedings of the American Mathematical Society, 105, 898-902 (1989).
9. I.I. Privalov, “Boundary properties of analytic functions”, 1st edition, Moskov. Gos. Univ., Moscow (1941) (in Russian).
10. M. Stoll, “Mean growth and Taylor coefficients of some topological algebras of analytic functions”, Annales Polonici Mathematici, 35, 139-158 (1977).

**ELEMENTS OF STABILITY AND BIFURCATION THEORY AND APPLICATIONS
TO THE PROBLEM OF SYNCHRONIZATION OF NONLINEAR OSCILLATORS**

Nikola Konatar¹

¹*University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Džordža Vašingtona bb
81000 Podgorica
konatarn@yahoo.com*

The problem of bifurcation control, i.e. the control of a system undergoing bifurcation, is a complex problem which can be studied in different ways, depending of the goal. We define the problem of bifurcation control as the problem of finding the right directions of control in order to steer the system into the targeted solution. We will introduce the notions of stationary state stability and bifurcation, mathematically define our problem, and give a method for finding these right directions of control, with illustrative examples. We will pay special attention to the problem of synchronization of nonlinear oscillators, which has significant applications in science and in industry. Also, we give a method for choosing the direction of control of the oscillators in order for them to synchronize, which relies on the method given. Finally, we illustrate our method on the problem of synchronization of coupled Duffing oscillators.

References :

1. V. Jaćimović, N. Konatar. "Determination of optimal forcing directions for synchronization of nonlinear oscillations" (under review)
2. V. Jaćimović, N. Konatar. "Directional control of bifurcation into targeted Trajectory" In: Int. J. Bif. Chaos 25 (2015), p. 1550154.

**SPECTRAL ASYMPTOTIC OF CAUCHY'S OPERATOR AND LOGARITHMIC
POTENTIAL TYPE OPERATOR ON HARMONIC BERGMAN SPACE ON A
SIMPLE CONNECTED DOMAIN**

Djordjije Vujadinović

University of Montenegro Podgorica

djordjijevuj@t-com.me

We find the asymptotic behaviour of the singular numbers for the Cauchy operator $Cf(z) = -\frac{1}{2\pi} \int_{\Omega} \frac{f(w)}{z-w} dA(w)$, (dA - Lebesgue measure) restricted to the harmonic subspace of $L^2_{\bar{h}}(\Omega)$, where Ω is a simply connected domain in the complex plane. More precisely, we proved

$s_n(P_n^{\Omega}C) = O(n^{-1}), n \rightarrow \infty$, by giving the upper and lower asymptotic estimates

$$\frac{|\partial\Omega|}{2\pi} \leq \lim_{n \rightarrow \infty} n s_n(P_n^{\Omega}C) \leq \frac{\sqrt{(|\partial\Omega|^2 + 8|\varphi|_{\frac{2}{\infty}}^2)}}{2\pi},$$

where $|\partial\Omega|$ is the length of the boundary of the Ω , $\varphi: D \rightarrow \Omega$ is a conformal mapping of the unit disc D onto Ω and P_n^{Ω} is harmonic Bergman projection.

Also, we consider the Logarithmic potential type of operator on the unit disc D ,

$$Lf(z) = -\frac{1}{\pi} \int_D \ln|z-w| f(w) dA(w), \quad \text{and we prove}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 s_n(P_n^D L) = \left(\frac{\pi^2}{12} - \frac{1}{16}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИЙ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЛЮДЕЙ

Л.В. Клочкова, В.Ф. Тишкин

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
e-mail: klud@imamod.ru

Для того чтобы органы общественного здравоохранения могли принять наиболее эффективные меры в борьбе с эпидемией, необходимо уметь количественно оценивать сравнительные достоинства различных методов: введения карантина, вакцинации, выявления контактов, закрытие школ или общественных бань и т. д. и т.п. Основной интерес для авторов представлял уровень законов распространения инфекций капельно-воздушным путём. Выбирались такие характеристики, которые при необходимости могли бы описать более тонкие детали. Основной эмпирический факт, который имел фундаментальное значение – то, что вирусы без контакта с живыми клетками представляют собой инертные частицы, ничем не отличающиеся от нано частиц неживой природы. Они представляют собой фрагменты ДНК или РНК. Попадая в живой организм, они прикрепляются к клеткам, внедряются в них и там размножаются. При этом клетка погибает. На месте остатков как в питательной среде развиваются бактерии, которые могут вызвать гибель всего живого организма. Таким образом, распространение самих вирусов в окружающей среде происходит по законам инертных примесей. Поскольку наш коллектив активно занимается математическим моделированием распространений различных загрязнений в окружающих средах, был разработан исполнительный модуль в программном комплексе TIMES для описания процессов распространения вирусов с учётом известных из практической медицины особенностей изучаемых вирусов, распространяющихся воздушно-капельным путём.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 17-01-00361_a

ЛАЗЕР-ИНДУЦИРОВАННАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В ДИАГНОСТИКЕ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Н.Н. Булгакова

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д.38

В данной работе представлены результаты исследований флуоресцентных свойств биологических тканей для решения актуальных задач диагностики социально-значимых заболеваний, в первую очередь - ранних форм рака.

Эндогенная или аутофлуоресценция, биологических тканей являются чувствительным неинвазивным маркером происходящих в них процессов. По мере старения тканей, при развитии различных заболеваний и патологических процессов, включая злокачественное перерождение, аутофлуоресцентные свойства ткани претерпевают значительные изменения. Регистрация возникающих различий лежит в основе высокочувствительных оптических методов флуоресцентной диагностики.

В докладе будут представлены результаты исследований лазер-индуцированного аутофлуоресцентного излучения нормальных и патологических тканей при освещении их поверхности лазерным излучением в УФ и синем диапазонах спектра. Излучение указанных спектральных диапазонов эффективно поглощается содержащимися в тканях эндогенными хромофорами (главным образом, гемоглобином и его формами), а также эндогенными флуорофорами, к которым относятся определенные молекулы соединительной ткани, дыхательной цепи, а также продукты метаболизма и старения.

Большое внимание будет уделено разработанной концепции спектрально-флуоресцентного алгоритма получения достоверной диагностической информации на основе online мониторинга «спектрального образа» биологической ткани. Помимо совокупности простых качественных особенностей визуально наблюдаемого панорамного изображения ткани в свете аутофлуоресценции, в «спектральный образ» предложено, помимо амплитудных характеристик, включать базовые количественные характеристики формы спектра лазер-индуцированной аутофлуоресценции, измеренных в локальных точках поверхности.

Будет также представлена аппаратура, разработанная в ИОФРАН, для флуоресцентной диагностики ранних форм рака слизистых оболочек полых органов и результаты ее клинического применения в пульмонологии, гинекологии, стоматологии.

Благодарность: Программа фундаментальных исследований РАН «Фундаментальные и прикладные проблемы фотоники и физика новых оптических материалов», проект «Изучение спектральных образов тканей и выявление их связи с патологическими процессами».

Литература:

1. N. Bulgakova, V. Sokolov, L. Telegina et al. “Study of laser-induced autofluorescence emission spectra from normal and malignant bronchial epithelium”, *Photon Lasers Med*, 2(2), 93–99 (2013).
2. Н.И. Крихели, Т.И. Позднякова, Н.Н. Булгакова, Е.Ю. Прокудина, “Результаты аутофлуоресцентной стоматоскопии плоского лишая как скринингового метода выявления предраковых и раковых изменений слизистой оболочки рта”, *Российская стоматология*, 4(80), 13-17 (2016).

LASER INDUCED FLUORESENCE OF BIOLOGICAL TISSUES IN DIAGNOSTICS OF SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASES

Natalia Bulgakova

A.M. Prokhorov General Physics Institute of the R A S, 119991 Moscow, Vavilov str.38, Russia

This paper presents the investigations of fluorescence properties of biological tissues for the decision of actual problems of diagnostics of socially significant diseases, primarily early stage cancer.

Endogenous or autofluorescence of biological tissues is the sensitive non-invasive marker of existent processes. Such process as tissue aging, the occurrence and growing of various diseases and pathological processes, including malignant transformation, cause the significant alterations in tissue autofluorescence properties. The registration of this alterations is the basis of a highly sensitive optical methods of fluorescence diagnosis.

The results of the study of laser-induced autofluorescence emission of normal and pathological tissues under the laser excitation in the UV and blue spectral ranges will be presented. The radiation of defined spectral ranges is effectively absorbed by the endogenous chromophores (mainly hemoglobin and its forms), as well as endogenous fluorophores, which include the certain molecules of connective tissue, the respiratory chain, as well as products of metabolism and aging.

The attention will be paid to the developed the concept of spectral-fluorescence algorithm of obtaining the reliable diagnostic information based on online monitoring the spectral pattern of biological tissue. In addition to the complex of simple qualitative features of the autofluorescence images, the spectral pattern involves the basic characteristics of amplitude and shape of the laser-induced autofluorescence spectra measured at local points on the tissue surface.

The equipment developed in General Physics Institute for fluorescence diagnosis of early stage cancer and the results of its clinical application in pulmonology, gynecology, dentistry will be presented also.

Acknowledge: The RAS Program of the Fundamental Researches: «Basic and applied problems of photonics and physics of new optical materials», the Project «Study of the spectral pattern of biological tissue and its correlation with pathological processes»

References:

- 1.N. Bulgakova, V. Sokolov, L. Telegina et al., “Study of laser-induced autofluorescence emission spectra from normal and malignant bronchial epithelium”, *Photon Lasers Med*, 2(2), 93–99 (2013).
2. N.I. Krikheli, T.I. Pozdnjakova, N.N. Bulgakova, E.Ju. Prokudina, “The results of autofluorescence stomatoscopy of oral lichen planus as screening method for revealing premalignant and malignant legion of oral mucosa”, *Rossiiskaya stomatologija*, 4(80), 13-17 (2016).

**MATHEMATICAL MODELING APPLICATION IN INTEGRATIVE THERAPY
WITHIN ASTHMA PATIENTS**

Emilija Nikolic¹, Tijana Brandmajer²,

¹ *Medicine Faculty Podgorica, University of Montenegro,
Ljubljanska b.b., 81000 Podgorica, Montenegro
e-mail: ema.med@t-com.me*

² *Medicine Faculty Podgorica, University of Montenegro,
Ljubljanska b.b., 81000 Podgorica, Montenegro
e-mail: tijanabrandmajer@gmail.com*

Asthma is uninfected chronic disease, which can produce to physical, emotional, and social disability for patients and weak quality of life. Asthma patients were treated in Mediterranean Center Igalo. The control group (60) was subjected to physical rehabilitation and medication therapy; the experimental group (60) was subjected to had rehabilitation, medication therapy and acupuncture stimulation. Spirometry parameters were measured at the beginning and the end this therapy. Symptoms of Asthma in patients were recorded every day. Also, Asthma Control Test (ACT) and Asthma Quality of life Questionnaire (AQoLQ) related to overall health condition were made in both groups. High correlation between summary value of ACT (0-20 points), AQoLQ(SCORE) and parameters of pulmonary function were recognized respectively: 1) Control group: a)-0.461(score – PEF) b)-0.432(score-FEV1) c)-0.401(score-FVC) d)-0.331 (score-point) 2) Experimental group: a)-0.258(score-PEF) b)-0.312(score FEV1) c)-0.340 (score-FVC) d)-0.642(score-point). By using of nonlinear regression analysis, an admissible mathematical model was developed to provide the values of AQoLQ on the basic spirometric parameters, and exacerbation results. All investigated parameters indicated improvement at the end treatment in both groups. The highest improvement was noted for the parameter FEV1. Also, improvement in all symptoms in Asthmatic patients was noted for both group. At the end of research the Asthmatic patients experimental group had better Quality of life, emotional function, and activity than patients control group. Acupuncture stimulation has positive effect on Asthmatic patients. Research results suggested that the acupuncture therapy in primary health protection should be included two times a year.

References

1. The Global Asthma Report 2014. Auckland, New Zealand, Global Asthma Network, (2014).
2. Bateman ED, Hurd SS, Barnes PJ, et al. “Global strategy for asthma management and prevention: GINA executive summary”, *Eur Respir J.*, 31, 143 (2008).
3. Juniper EF. “Assesing asthma quality of life:its role in clinical practice”, *Breathe*, 1(3), 192-205 (2005).
4. Global Initiative for Asthma (GINA). Global strategy for asthma management and prevention, Updated (2016). Available from: www.ginasthma.org .
5. Kwon HS, Lee SH, Yang MS, Lee SM, Kim DI at all. “Correalation between the Korean version of Asthma control test and health-related quality of life in adult asthmatics”, *J Korean Med Sci*, 23(4), 621-7 (2008).
6. Juniper EF, Buist AS, Cox FM, Ferrie PJ, King DR. “Validation of astandardized version of the Asthma Quality of Life Questionnaire”, *Chest*, 115(5), 1265-1270 (1999).
7. Osman LM, Calder C, Robertson R, Friend JA, Legge JS, DouglasJG. “Symptoms, quality of life, and health service contact among young adults with mild asthma”, *Am J Respir Crit Care Med*, 161(2), 498-503 (2000).
8. Vollmer WM, Markson LE, O’Connor E, Sanocki LL, Fitterman L, Berger M, et al. “Association of asthma control with health care utilization and quality of life”, *Am J Respir Crit Care Med*, 160(5), 1647-1652 (1999).
9. Osman LM, Baxter-Jones AD, Helms PJ. “Parents’ quality of life andrespiratory symptoms in young children with mild wheeze”, *Eur RespirJ*, 17(2) ,254-258 (2001).
10. Juniper EF, O’Byrne PM, Ferrie PJ, King DR, Roberts JN. “Measuring asthma control: clinic questionnaire or daily diary?”, *Am J Respir Crit Care Med*, 162(4), 1330-1334 (2000).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ ПО ЗАДАНЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

М.Е. Жуковский, С.В. Подоляко, А.А. Крюков

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
psv66@mail.ru

Рассматривается задача о нахождении определенной на отрезке $t \in [a, b]$ функции $u(t)$, которая удовлетворяет совокупности интегральных соотношений вида:

$$\int_a^b k(t) u(x(t) - \eta(t - t_k)) \eta(t_{k+1} - t) dt = f_k, \quad k = 1, \dots, n,$$

где η — единичная функция Хевисайда.

На искомую функцию $u(t)$ накладываются следующие ограничения:

$$\left\| \int_{t_k}^{t_{k+1}} k(\tau) u(t - \tau) d\tau - f_k \right\| \leq \varepsilon_k; \quad a \leq t_k \leq t_{k+1} \leq b; \quad t_k < t_{k+1}; \quad \varepsilon_k > 0.$$

Такие задачи являются некорректно поставленными. Для их решения предложен вариант устойчивого вариационного метода [1]. В качестве стабилизирующего функционала используется вариация функции и/или её производных, в зависимости от известной априорной информации о гладкости решения $u(t)$ [2]. Предлагаемый метод позволяет учитывать дополнительную информацию об искомом решении, заданную в виде линейных ограничений на функционалы $F(u)$ на пространстве решений $u(t)$ и на производные искомой функции $u(t)$ [3].

Рассмотрена возможность распространения предложенного метода на двумерный случай [4]

$$\left\| \iint_{\omega_k} K(\xi, \eta) u(x(\xi, \eta), y(\xi, \eta)) d\xi d\eta - f_k \right\| \leq \varepsilon_k; \quad \omega_k \subseteq \Omega \subset \mathbb{R}^2; \quad k = 1, \dots, n$$

Благодарность: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-01-03027.

Литература:

1. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986.
2. Загонов В. Л. Об одном подходе к решению операторных уравнений с использованием априорной информации о производной // Докл. АН СССР. 1986. Т. 289. ;м 3. С. 529-532.
3. Загонов В.Л., Подоляко С.В. Некоторые алгоритмы приближенного решения интегральных уравнений первого рода при наличии априорных ограничений, Математическое моделирование, 1992г., т.4, N 4, с. 89-100
4. Выставкин А.Н., Банков С.Е., Жуковский М.Е., Подоляко С.В. Патент. Способ формирования изображения с субдифракционным разрешением. Рег. № 2533502 от 19.09.2014 г.

ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД В ЗАДАЧЕ О ТОНКОМ УПРУГОМ ВКЛЮЧЕНИИ В ДВУМЕРНОМ ВЯЗКОУПРУГОМ ТЕЛЕ

Попова Т.С.¹

¹*Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова,
Россия, Якутск, Белинского, 58
e-mail: ptsokt@mail.ru*

В работе рассматривается краевая задача о равновесии двумерного вязкоупругого тела, имеющего тонкое упругое включение. Моделирование вязкоупругого материала предполагает применение так называемых наследственных интегралов. Тонкое включение моделируется как упругая балка Бернулли-Эйлера, расположенная в вязкоупругом двумерном теле. Рассматриваются случаи неотслоившегося включения, а также случай балки с отслоением. Последний случай формулируется как двумерное тело, имеющее трещину, проходящую по всей длине включения. Предполагается, что трещина имеет два берега, на одном из которых имеется упругое включение.

Задача в обоих случаях ставится в виде краевой задачи. В случае отслоившегося включения на берегах трещины дополнительно заданы нелинейные краевые условия вида неравенств, которые интерпретируются как взаимное непроникание точек одного из берегов трещины и включения. Нелинейность поставленной задачи обуславливает необходимость вариационного подхода в исследовании разрешимости, поэтому приводится постановка в виде вариационного неравенства и доказана эквивалентность указанных дифференциальной и вариационной формулировок при условии достаточной гладкости решений.

Установлена однозначная разрешимость вариационного неравенства, получено дополнительное свойство гладкости решений по временной переменной. Кроме того, показано, что введение в задаче параметра, характеризующего жесткость материала включения позволяет рассматривать семейство задач об упругих включениях различной жесткости и доказано, что задача о тонком жестком включении в двумерном вязкоупругом теле является предельной для данного семейства при стремлении указанного параметра к бесконечности.

Литература:

1. A.M. Khludnev, T. S. Popova, “Junction problem for Euler-Bernoulli and Timoshenko elastic inclusions in elastic bodies” Quarterly of Applied Mathematics, Vol. 74, No. 4, pp. 705-718 (2016).
2. T. Popova, G.A. Rogerson, “On the problem of a thin rigid inclusion embedded in a Maxwell material” Z. Angew. Math. Phys. (2016) 67: 105. doi:10.1007/s00033-016-0700-9.

МОДЕЛЬ УМЕНЬШЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛОВ.

Григорьева М.С.^{1,2}, Завестовская И.Н.^{1,2}, Канавин А.П.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31.*

²*Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 г. Москва, Ленинский проспект, д. 53
msgrioryeva@mephi.ru*

Пористость материала является одним из распространенных дефектов металлических покрытий. Лазерная обработка существенным образом может уменьшить пористость материала, изменить рельеф поверхности, а также её микроструктуру и шероховатость. В зависимости от метода нанесения покрытий поры могут быть как пустыми, так и газонаполненными. Если дефекты представляют собой пустые поры, то вероятным механизмом уменьшения пористости будет их схлопывание в расплавленном материале под действием сил поверхностного натяжения.

В представленной работе построена самосогласованная модель уменьшения пористости при лазерном воздействии на поверхность металлов. Если поры считать пустыми, то движение жидкости в расплаве можно характеризовать двумя пространственными масштабами: локальным движением на размерах масштаба размера поры и усредненным гомогенным движением расплава, причем эти движения могут быть разделены. Локальное движение жидкости приводит к затеканию расплавленного материала внутрь пор и их схлопыванию. Скорость такого затекания зависит от соотношения между капиллярным давлением и давлением вблизи поры. Затекание материала внутрь пор должно сопровождаться поступлением расплава от облучаемой поверхности к области схлопывания, а значит возникновением соответствующего усреднённого макроскопического движения, которое определяется разностью давлений на свободной поверхности и заданной глубине расплава. Таким образом, динамика затекания расплава в поры и его поступательное усреднённое движение от поверхности к области схлопывания оказываются связанными самосогласованным образом посредством давления на заданной глубине.

Численным методом было получено изменение размера пор по глубине в цикле «плавление-затвердевание» при лазерном воздействии наносекундной длительности. Найдена критическая скорость плавления пористого материала, являющаяся критерием применимости предложенной модели.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Л.И. Галанина, Л.С. Новиков

*НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия
galan_lidiya@mail.ru*

Последствием уменьшения размеров элементной базы микроэлектроники стало увеличение ее чувствительности к отказу. Особый интерес представляют одиночные радиационные эффекты (ОРЭ), вызванные столкновением с одиночным энергичным ионом. Основными источниками ОРЭ являются протоны, альфа и тяжелые ионы.

С 1990 годов импульсная лазерная техника широко используется как инструмент стендового исследования ОРЭ, поскольку временные и спектральные характеристики полученных ионизирующих частиц хорошо известны. В работе проанализированы возможности применения фемтосекундного лазерно-плазменного источника излучения протонов, разработанного в лазерном центре МГУ, для моделирования ОРЭ.

Для 2-х спектров протонов с максимальной энергией 10 МэВ ($2.15 \cdot 10^{11}$ частиц за импульс) и 50 МэВ ($1.19 \cdot 10^{12}$ частиц за импульс), ускоренных из CH_2 фольги оптимальной толщины лазерными импульсами в 0.3 Дж и 3 Дж, проанализирована вероятность образования ОРЭ при их воздействии на материал микросхемы (кремний). Получено, что для обоих спектров собирание заряда в чувствительной области происходит за счет прямой ионизации протонами с энергией до 2 МэВ. Более быстрые протоны образуют ядра остатки (Si и Al) в результате ядерного взаимодействия. Однако поскольку доля таких протонов в обоих спектрах составляет не более 4%, а сечение ядерного взаимодействия мало, вклад от вторичной ионизации пренебрежимо мал.

Определены зависимости вероятности ОРЭ под действием протонов с разными энергиями E от пороговой энергии E_0 . Показано, что протоны с энергией ~ 2 МэВ не могут инициировать в кремнии ядерные реакции. При указанной энергии протонов основным механизмом передачи их энергии веществу является процесс ионизации. При энергии протонов ~ 10 МэВ за счет механизма упругого и неупругого рассеяния появляются ядра отдачи кремния, которые вызывают вторичную ионизацию при прохождении в веществе устройства и способны вызывать ОРЭ в элементах с пороговыми значениями менее 2 МэВ, что соответствует изделиям микроэлектроники с проектными нормами менее 50 нм.

WELL POSEDNESS FOR A CLASS OF ULTRA-PARABOLIC EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS FLUX

Jela Šušić

University of Montenegro, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica, Montenegro

We prove existence and uniqueness of a weak solution to an ultra-parabolic equation with discontinuous convection term. Due to degeneracy in the parabolic term, the equation does not admit the classical solution. Equations of this type describe processes where transport is negligible in some directions.

References

1. M. Bendahmane, K. H. Karlsen, “Renormalized entropy solutions for quasilinear anisotropic degenerate parabolic equations”, *SIAM J. Math. Anal.*, 36, 405–422 (2004).
2. G-Q. Chen, B. Perthame, “Well-posedness for non-isotropic degenerate parabolic-hyperbolic equations”, *Ann. Inst. H. Poincaré Anal. Non Linéaire*, 20, 645–668 (2002).
3. G-Q. Chen, K. H. Karlsen, “Quasilinear anisotropic degenerate parabolic equations with time-space dependent diffusion coefficients”, *Commun. Pure Appl. Anal.*, 4(2), 241–266 (2005).
4. L. Graetz, “Über die Wärmeleitfähigkeit von flüssigkeiten”, *Ann. Phys. Chem.*, 25, 337-357 (1885).
5. H. Holden, H. H. Olsen, “Kolmogorov-Riesz Compactness Criterion”, *Expositiones Mathematicae*, 28 (4), 385–394 (2010).
6. H. Holden, K. H. Karlsen, D. Mitrovic, E. Yu. Panov, “Strong Compactness of Approximate Solutions to Degenerate Elliptic-Hyperbolic Equations with Discontinuous Flux Functions”, *Acta Mathematica Scientia*, 29B, 1573-1612 (2009).
7. S. N. Kruzhkov, “First order quasilinear equations in several independent variables”, *Mat. Sbornik*, 81 (2), 228-255 (1970); English transl. in *Math. USSR Sb.*, 10(2), 217-243 (1970)
8. O. A. Ladyženskaja, V. A. Solonnikov, N. N. Ural’ceva, “Linear and quasi-linear equations of parabolic type”, *Izdat. Nauka*, Moscow, (1968).
9. W. Nusselt, “Die abh angigkeit der w armeubergangszahl von der rohrl ange”, *Z. Ver. Deut. Ing.*, 54, 1154–1158 (1910).
10. E. Yu. Panov, “Ultra-parabolic equations with rough coefficients. Entropy solutions and strong precompactness property”, *J. Math. Sci.*, 159(2), 180–228 (2009).
11. A. Riaz, M. Heisse, H. A. Tchelepi, F. M. Orr jr, “Onset of convection in a gravitationally unstable diffusive boundary layer in porous media”, *J. Fluid Mech.*, 548, 87–111 (2006)
12. S. A. Sazhenkov, “A Degenerate Hydrodynamic Dispersion Model”, *J. Prime Res. in Math.*, 3, 140–153 (2007).
13. S. A. Sazhenkov, “Genuinely nonlinear ultra-parabolic GraetzNusselt equation”, *Siberian Math. J.*, 47(2), 355-375 (2006).
14. L. Tartar, “H-measures, a new approach for studying homogenisation, oscillations and concentration effects in partial differential equations”, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A*, 115, 193–230 (1990).