

Федеральный исследовательский центр

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ имени М.В. КЕЛДЫША

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

## Прикладная математика XXI век



Доклад посвященный  
70-летию ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

директор института,  
член - корреспондент РАН,  
А.И.Аптекарев

Общее собрание ОМН РАН

22 мая 2023 года

# 70 лет ИПМ им. М.В. Келдыша РАН



**Вступительное слово**

# Предыстория создания Института

**1945 год** (август 6 и 9) атомные взрывы в Японии  
(август 20) - создание ПГУ при СНК СССР

-

**1946 год** -- В МИАН расчетное бюро Семендяева

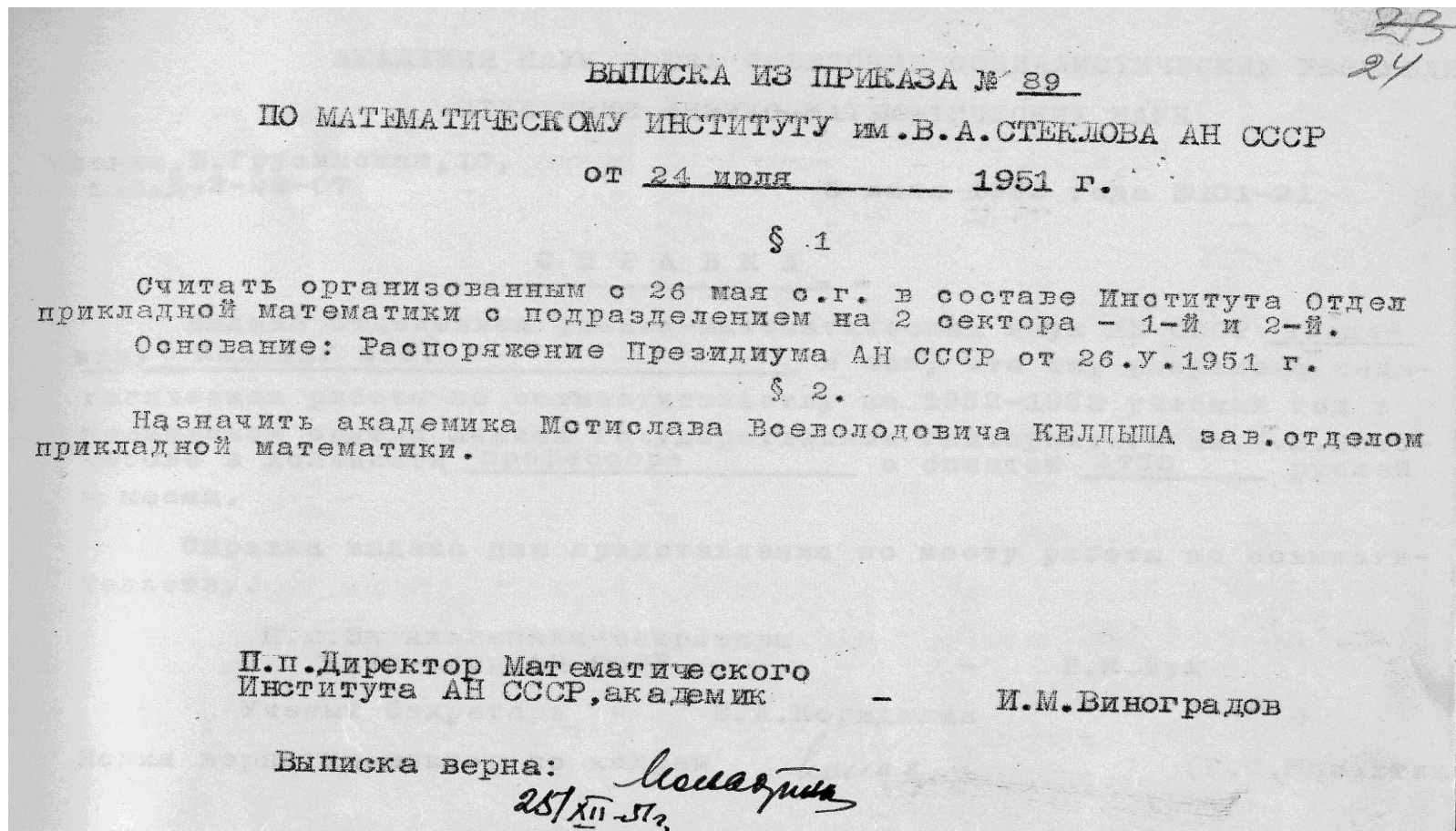
- Келдыш зам. директора МИАН (секретные работы)  
(после МГУ, с 1931 г., основное место работы ЦАГИ  
1943г. чл.корр. АН СССР, 1944 - зав. отд. механики МИАН)
- академик АН СССР, начальник НИИ-1,  
(с 1950 Научный руководитель НИИ-1)

**1951 год** – отдел прикладной математики МИАН,  
зав. отделом Келдыш



## В МИАН им. В.А. Стеклова (1934 - 1953)

И.М. Виноградов: « Вскоре после войны пришли ко мне Я.Б.Харитон и другие физики. Просили порекомендовать математика, который мог бы поставит расчеты по атомной тематике. Я им порекомендовал взять Келдыша, - он в любом приложении математики способен разобраться лучше всякого. .... Вот Келдыш и организовал к осени 1946 года расчетное бюро.....»



# Семинар И.В. Курчатова



- упрощенные модели атомной бомбы, описываемые системой обыкновенных дифференциальных уравнений для средних величин.
- **А.Н. Тихонов** предложил провести методом конечных разностей прямой численный расчет взрыва на основе полных моделей физических процессов (распространения нейтронов и тепла, ядерного горения и газодинамики), описываемых системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, используя их представление в лагранжевых координатах.

Рассекречено 246  
СОВ. СЕКРЕТНО



# СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

## РАСПОРЯЖЕНИЕ

от „18“ апреля 1953 г. № 6111-рс

Москва, Кремль.

1. Образовать в Математическом институте имени В.А.Стеклова Академии наук СССР отделение прикладной математики на базе расчетно-математических бюро, руководимых академиками Петровским и Келдышем, и вычислительного бюро Геофизического института, руководимого членом-корреспондентом Академии наук СССР Тихоновым.

2. Возложить на отделение прикладной математики Математического института имени В.А.Стеклова Академии наук СССР выполнение расчетных работ, составление математических таблиц специальных функций и развитие соответствующих областей математики по планам и под контролем Первого главного управления при Совете Министров СССР.

3. Назначить директором отделения прикладной математики Математического института имени В.А.Стеклова Академии наук СССР, на правах директора института, академика Келдыша М.В. и заместителем директора члена-корреспондента Академии наук СССР Тихонова А.Н., освободив его от работы в Математическом институте Академии наук СССР.

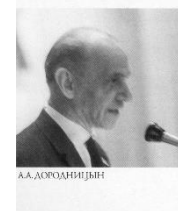
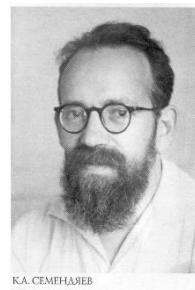
Зам. Председателя  
Совета Министров Союза ССР

(Л.Берия)

Направить: тт. Завенягину А.П., Несмеянову А.Н., Ключкову И.М.,  
Махневу В.А. - полностью, Министерству согласно  
рассылке.

# При организации Института были образованы отделы:

- газодинамики (К.А.Семендяев),
- теплопереноса (И.М.Гельфанд),
- математической физики (А.А.Самарский),
- механики (Д.Е.Охоцимский),
- аэродинамики (А.А.Дородницын),
- программирования (А.А.Ляпунов).



Ученый секретарь – Н.Н.Яненко

# Сотрудничество



## **Математических отделы для:**

ВНИИ экспериментальной физики (Саров);

ВНИИ технической физики им. Е.Н. Забабахина (Снежинск).

## **Институты:**

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН,

Институт космических исследований РАН,

Институт математических проблем биологии РАН,

Институт математического моделирования РАН.

## **Важные научные направления Института в настоящее время:**

- 1. Теоретическая и прикладная математика.**
- 2. Высокопроизводительные вычисления, информатика и программирование.**
- 3. Математическое моделирование. Создание методов и средств для расчета параметров сложных технических систем и физико-химических процессов**
- 4. Космические исследования. Небесная механика**
- 5. Мехатроника. Большие данные и искусственный интеллект**
- 6. Математические проблемы биологии**

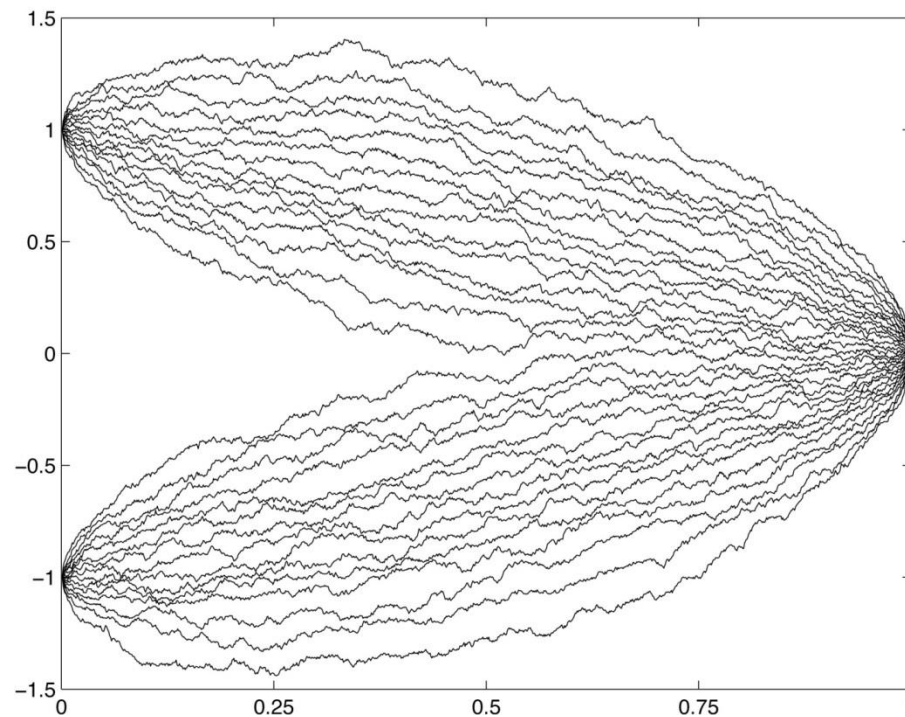
## **1.1. Математические исследования – математика и теоретическая механика**

- Вероятностные методы в работе с данными больших размерностей и больших размеров;
- Общая теория дифференциальных и конечно-разностных уравнений;
- Специальные функции, теория аппроксимаций, комплексный и асимптотический анализ;
- Дискретная математика;
- Динамические системы и задачи теоретической механики;

## ● Вероятностные методы в работе с большими данными

I.M. Sobol, «*Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates*», Mathematics and Computers in Simulation, 55. 1-3, (2001). 271-280.

И.М. Соболев, “О численных методах для функций, зависящих от большого количества переменных”, Матем. моделирование, 29:2 (2017), 135–138



A. I. Aptekarev, P. M. Bleher, A. B. J. Kuijlaars, “*Large  $n$  limit of Gaussian random matrices with external source*”, Communications in Mathematical Physics, 259:2 (2005), 367–389

## ● Теория обыкновенных дифференциальных уравнений

А. Д. Брюно, “Асимптотики и разложения решений обыкновенного дифференциального уравнения”, Успехи Математических Наук, 59:3(357) (2004), 31–80

## ● Теория уравнений в частных производных

A.V. Bobylev, “Instabilities in the Chapman-Enskog expansion and hyperbolic Burnett equations”, Journal of Statistical Physics 124, (2006), 371–399

A.V. Bobylev, “Boltzmann equation and hydrodynamic beyond Navier-Stokes”, Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Series A), 376 : 2118, (2018), 0227.

A.A.Ilyin, Yu.G.Rykov, S.V.Zelik. «Hyperbolic relaxation of the 2D Navier–Stokes equations in a bounded domain». Physica D 376–377 (2018), 171–179.

## ● Дискретная математика

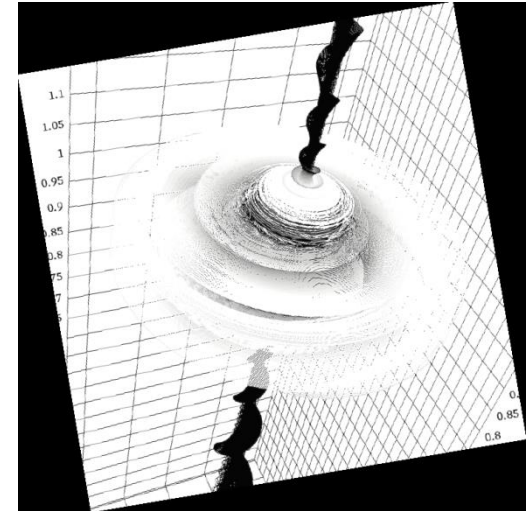
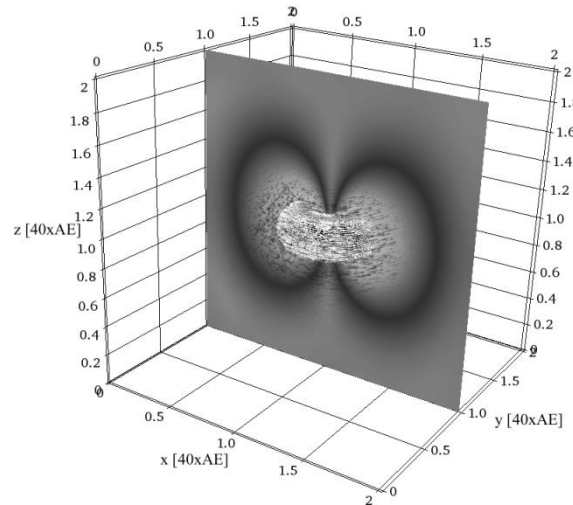
А.Д. Яшунский, «Исследования по теории итеративных систем, порождаемых конечными случайными величинами. Арифметический и комбинаторно-логический подход». диссертация д. ф-м. н.: 01.01.06 – Москва, 2021. – 245 с.

К.А. Попков, «О возможностях построения легкотестируемых контактных схем и функциональных элементов ». диссертация д. ф-м. н.: 01.01.09 Москва, 2021. – 377 с.

## 1.2. Прикладная и вычислительная математика

- **Кинетические схемы.**

В.Н. Четверушкин. Kinetic schemes and Quasi-Gas Dynamic system of equations, CIMNE, Barcelona, 2008, pp.1-298



- **Неструктурированные и динамически адаптивные сетки**

Краснов М.М. *Операторная библиотека для решения трёхмерных сеточных задач математической физики с использованием графических плат с архитектурой CUDA*, Математическое моделирование, 2015, т. 27, № 3, с. 109-120.

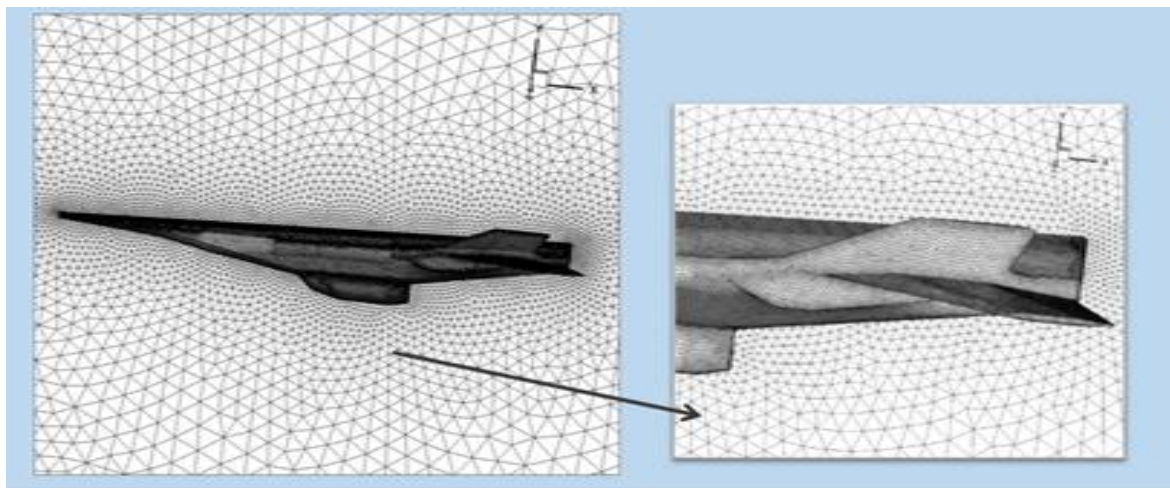
Корнилина М.А., Якобовский М.В. *Оценка накладных расходов при выполнении расчётов на локально измельчаемых сетках*, Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2022. № 102. 36 с.

- **Метод локальных итераций.**

Жуков В.Т., *О явных методах численного интегрирования для параболических уравнений*, Математическое моделирование. 2010. т. 22:10. 127–158.

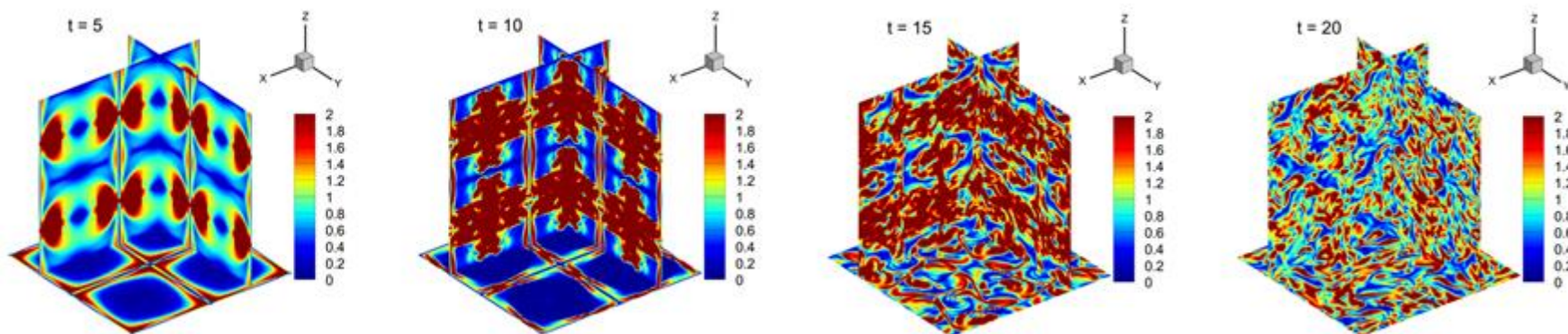
## ● Разрывный метод Галеркина.

Ладонкина М.Е., Неклюдова О.А., Остапенко В.В., Тишкин В.Ф., *О точности разрывного метода Галеркина при расчете ударных волн*, ЖВМиМФ, 2018, т. 58, № 8, с. 148-156.



## ● Бикомпактные схемы

Брагин М.Д. *Бикомпактные схемы для уравнений Навье–Стокса в случае сжимаемой жидкости* Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления, 2023, т. 509, № 1, с. 17-22.

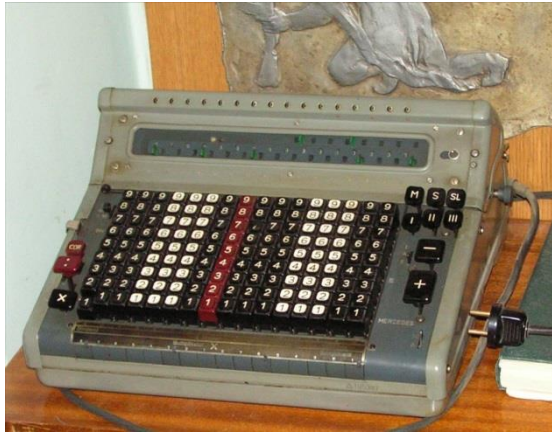


## **2. Высокопроизводительные вычисления**

### **2.1. Алгоритмическое и системное обеспечение для суперкомпьютерных комплексов:**

- **Прикладное программирование**
- **Система автоматизации разработки параллельных программ DVM**
- **Версия для гибридных вычислительных систем – DVMH**
- **Решение проблемы отказов на алгоритмическом уровне**

## 2.2. Вычислительная техника



### **3. Математическое моделирование сложных систем и процессов** (примеры:)

**3.1 Аэроакустика**

**3.2 Научная визуализация**

**3.3 «Цифровой керн»**

**3.4 Физика токонесущей плазмы**

**3.5 Астрофизика**

**3.6 Контактные задачи термомеханики**

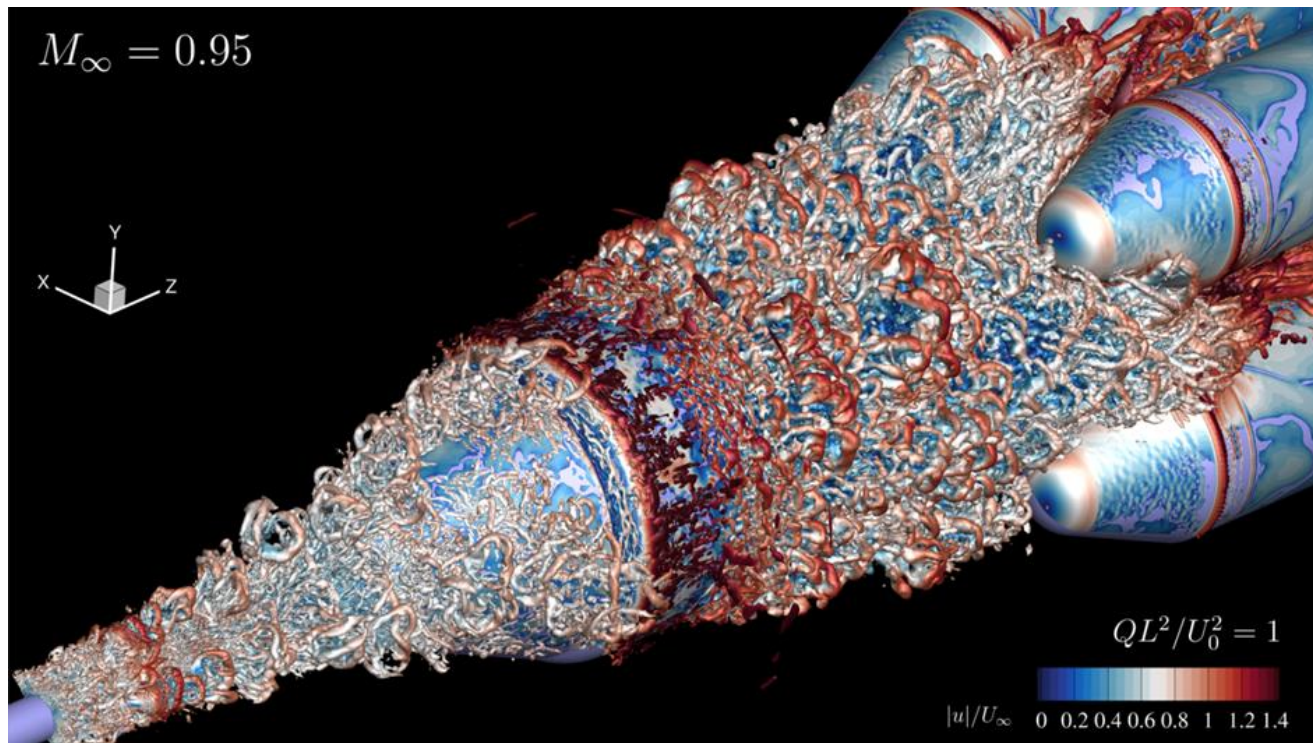
**3.7 Проникающее электромагнитное излучение**

### 3.1 Аэроакустика

Gorobets, P. Bakhvalov. *Heterogeneous CPU+GPU parallelization for high-accuracy scale-resolving simulations of compressible turbulent flows on hybrid supercomputers*, Computer Physics Communications 20216 108231.

A.P. Duben, T.K. Kozubskaya. *Evaluation of Quasi-One-Dimensional Unstructured Method for Jet Noise Prediction*, AIAA J., V. 57, Issue 12, 2019, 5142-5155

I.V. Abalakin, P.A. Bakhvalov, V.G. Bobkov, A.V. Gorobets. *Parallel Algorithm for Flow Simulation in Rotor–Stator Systems Based on Edge-Based Schemes*, Math. Models Comput. Simul., 2021, 13(1), 172–180



**Турбулентность возле поверхности ракеты космического назначения на этапе выведения**

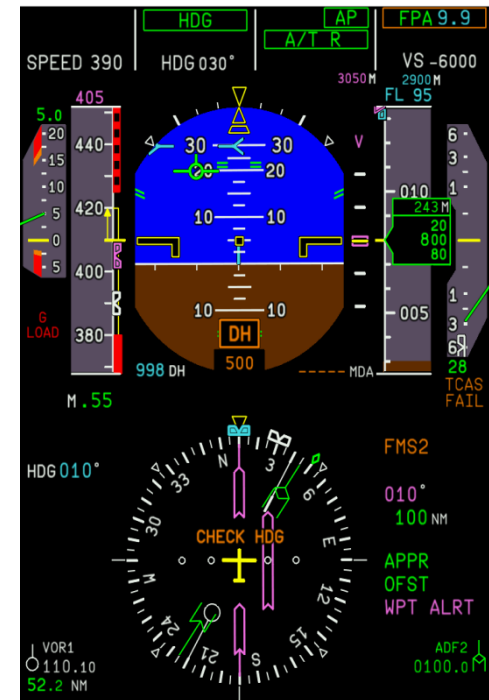
### 3.2 Научная визуализация

Ershov S., Sokolov V., Galaktionov V., Voloboy A. *Virtual Light Sensing Technology for Fast Calculation of Daylight Autonomy Metrics*, Sensors. 2023; 23(4):2255.

B.Kh. Barladian, N.B. Deryabin, L.Z. Shapiro, Yu.A. Solodelov, A.G. Voloboy and V.A. Galaktionov. *Multiwindow Rendering on a Cockpit Display Using Hardware Acceleration*, Programming and Computer Software, 2021, Vol. 47, No. 6, pp. 457–465.

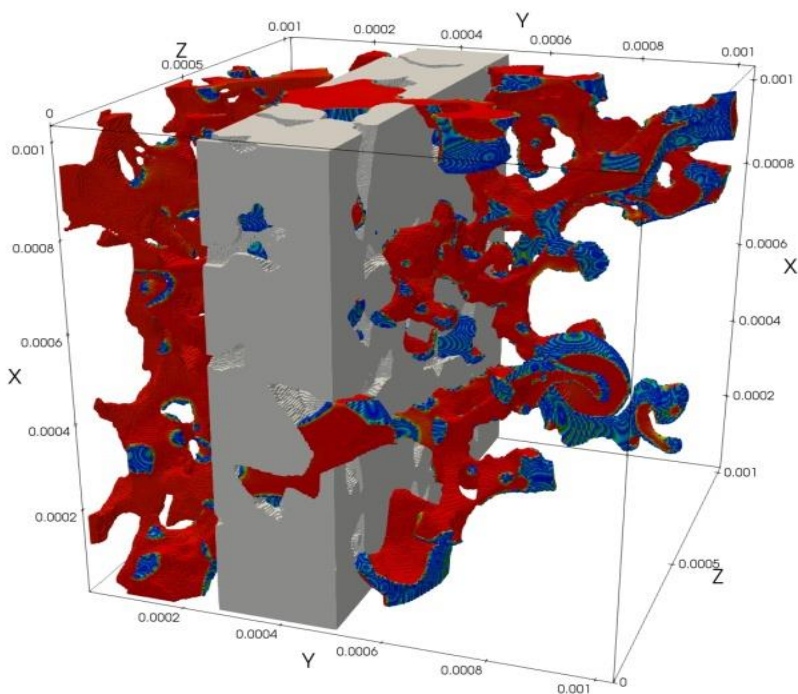


Виртуальное прототипирование  
салона авиалайнера



пилотажно-информационный  
дисплей

### 3.3 Алгоритмы и модели «фазового поля» для технологии «Цифровой керн»



Визуализация многофазного течения в поровом пространстве.

1. Balashov, V., Savenkov, E., *A regularized phase field model for solid–fluid dynamics description*. Continuum Mech. Thermodyn. 35, 625–644 (2023).

<https://doi.org/10.1007/s00161-023-01203-1>

2. Balashov, V., Zlotnik, A. *On a new spatial discretization for a regularized 3D compressible isothermal Navier–Stokes–Cahn–Hilliard system of equations with boundary conditions*, J Sci Comput 86, 33 (2021).

<https://doi.org/10.1007/s10915-020-01388-6>

3. V.A. Balashov, E.B. Savenkov, *Thermodynamically consistent spatial discretization of the one-dimensional regularized system of the Navier–Stokes–Cahn–Hilliard equations*, Journal of Computational and Applied Mathematics, 372, 2020, 112743,

<https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.112743>.

### 3.4 Суперкомпьютерные исследования физики токонесущей плазмы

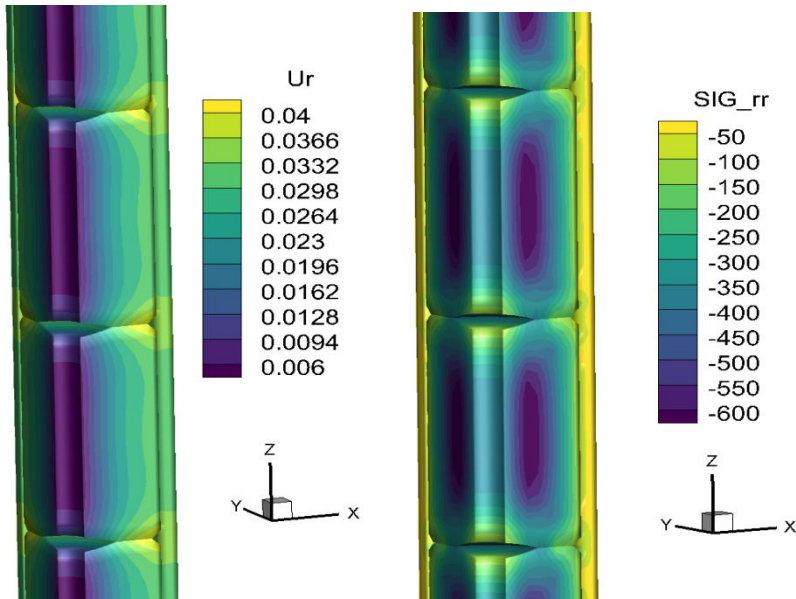


**Сильноточный генератор АНГАРА-5-1**

Б.Н. Четверушкин, В.А. Гасилов, Е.В. Грабовский. *Суперкомпьютеры и исследования сильноточных импульсных электрических разрядов*. В книге «Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности» под ред. В.А. Садовниченко, Г.И. Савина, Вл.В. Воеводина. М.: Изд. Московского университета, 2009.

Mitrofanov K.N. et al. *Progress in researching the implosion of nested arrays of mixed composition and the generation of soft X-ray power pulse*, Plasma Physics and Controlled Fusion. 2022. v. 64. № 4. С. 045007.

### 3.6 Решение контактных задач термодинамики



(а) Радиальные (б)  
(а) – перемещения (б) – напряжения

М.П. Галанин, А.С. Родин,  
*Исследование и применение метода  
декомпозиции области для моделирования  
тепловыделяющего элемента,*  
Журнал вычислительной математики и  
математической физики.  
2022. Т. 62. № 4. С. 659–676.

### 3.7 Проникающее и электромагнитное излучение

- Взаимодействие со сложными средами
- математические модели распространения фотонов и заряженных частиц
- рассеяние в диэлектриках, полупроводниках и газовых средах
- отклик изделий микроэлектроники, линий связи, защитных покрытий...
- обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

## **4. Космические исследования**

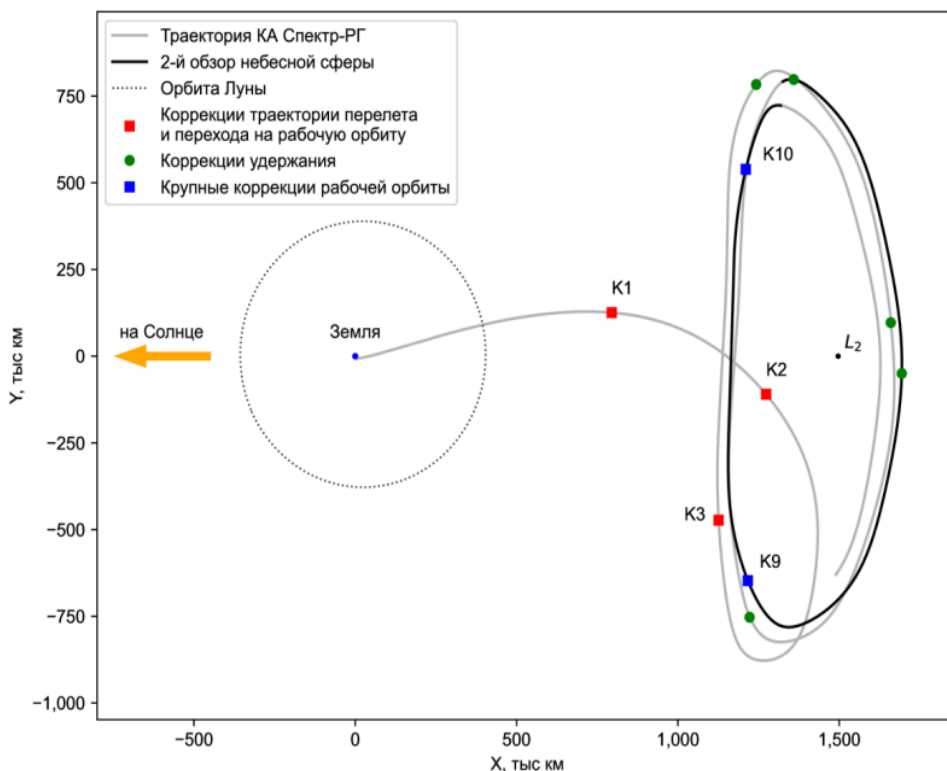
### **4.1 «Спектр-РГ»**

### **4.2 \*Навигация по нейтронным звездам - пульсарам**

### **4.3 Малые спутники**

### **4.4 \*Мониторинг околоземного пространства**

## 4.1 Баллистико-навигационное обеспечение управления полётом и выполнения научной программы космического аппарата «Спектр-РГ»

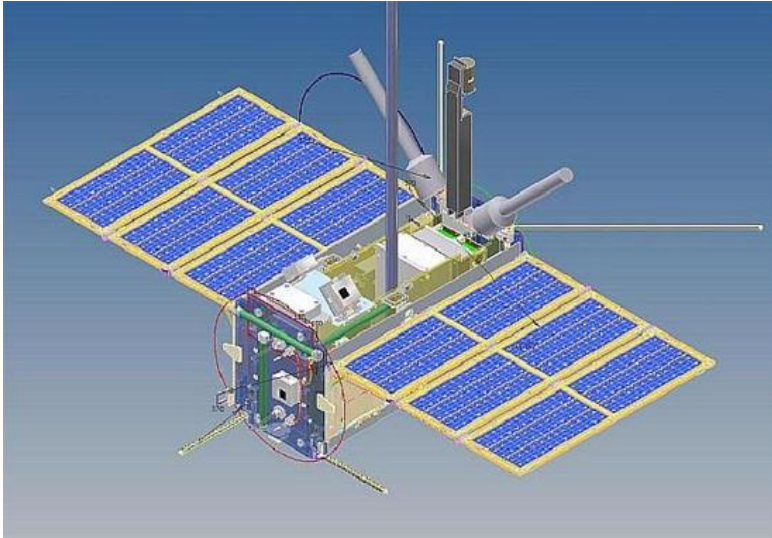


Михайлов Е.А., Аксенов С.А.,  
Заславский Г.С., Мжельский П.В.,  
Погодин А.В.  
*Методика расчета параметров серии  
«больших» коррекций траектории  
полета КА «Спектр-РГ» для  
улучшения его радиовидимости,*  
Письма в Астрономический журнал.  
2022. Т. 48, № 1. С. 61–74.

Проекция траектории КА «Спектр-РГ», включая схему перелёта к точке  $L_2$ , на плоскость эклиптики (XY) и ей ортогональные плоскости. Пунктирная линия изображает орбиту Луны. Точками K1 и K2 обозначены основные коррекции траектории перелета. Точка K3 обозначает манёвр перехода на квазипериодическую орбиту вокруг  $L_2$ . Зелёными и синими точками показаны последующие коррекции орбиты.

## 4.3 Малые спутники

### Микроспутник Чибис-М

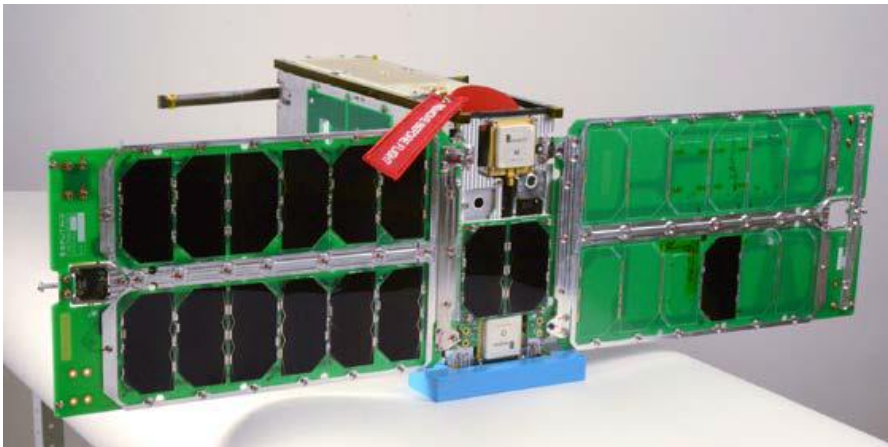


М.Ю. Овчинников, В.И. Пеньков, Д.С. Ролдугин, Д.С. Иванов. *Магнитные системы ориентации малых спутников.* – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. – 365 с. ISBN 978-5-98354-028-6

М. Ю. Овчинников. *Межпланетные перелеты малогабаритных космических аппаратов: проблемы баллистики и пути их решения, Гироскопия и навигация.* Том 29. №4 (115), 2021. С. 3-21.

Д.С. Иванов, С.О.Карпенко, М.Ю. Овчинников, Д.С. Ролдугин, С.С. Ткачев. *Испытания алгоритмов управления ориентацией микроспутника "Чибис-М" на лабораторном стенде,* Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. №1, с. 109-128.

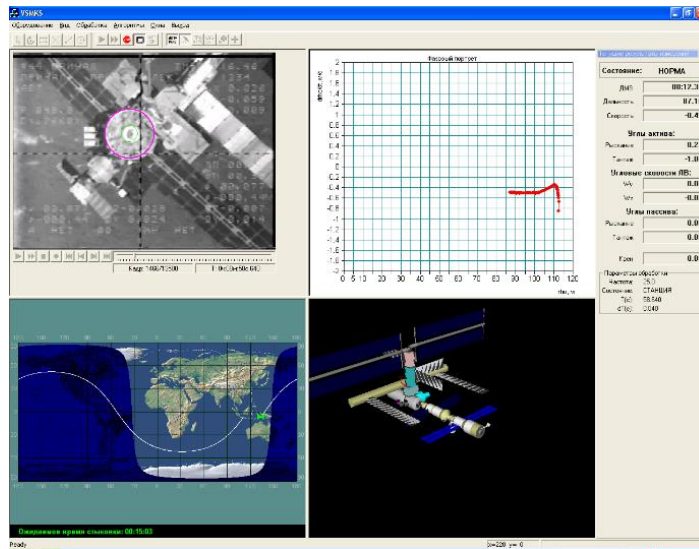
М. Shirobokov, S. Trofimov, M. Ovchinnikov, *Survey of Machine Learning Techniques in Spacecraft Control Design,* Acta Astronautica, 2021, volume 186, pages 87 - 97



# 5. Мехатроника и робототехника. Искусственный интеллект

## 5.1 Робототехника

- **СТЗ для автоматизации контроля процесса сближения и стыковки КК и МКС (ИПМ – НПО «Энергия»)**



Общий вид экрана программы автоматизированного визуального контроля за процессом сближения и стыковки:  
текущее изображение станции;  
фазовый портрет;  
орбита;  
компьютерная модель процесса стыковки

Богуславский А.А., Боровин Г.К., Карташев В.А., Павловский В.Е., Соколов С.М. *Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления*. М: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. 228 с. (Монография)

Boguslavsky A.A., Sazonov V.V., Sokolov S.M., Smirnov A.I., Saigiraev K.S. *Automatic vision-based monitoring of the spacecraft ATV rendezvous/separations with the International Space Station*. Proc of the Fourth International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Angers, France, May 9-12, 2007 (ICINCO 2007), Vol. 1, pp. 284-291.

## 5.2 Искусственный интеллект

### ● Большие Данные и Интеллектуальные Системы



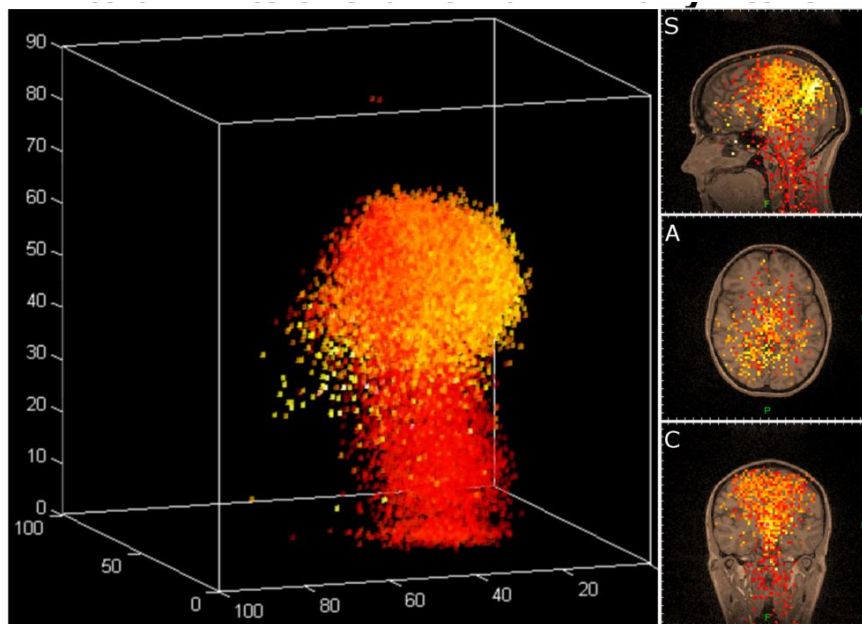
Орлов Ю.Н., Кислицын А.А., *Моделирование индикаторов разладки в нестационарных временных рядах*, РУДН, Москва, 2021. - 192 с.

Кислицын А.А., *Исследование статистик графов ближайших соседей*, Математическое моделирование. 2022. Т. 34. № 8. С. 110-126.

Воронина М.Ю., Кислицын А.А., Орлов Ю.Н., *Алгоритм коррекции метода биграмм в задаче идентификации автора текста*, Математическое моделирование 2022. Т. 34. № 9. С. 3-20.

## 6. Математические проблемы биологии

### 6.1 Реконструкция электрической функциональной структуры тела человека по магнитному полю



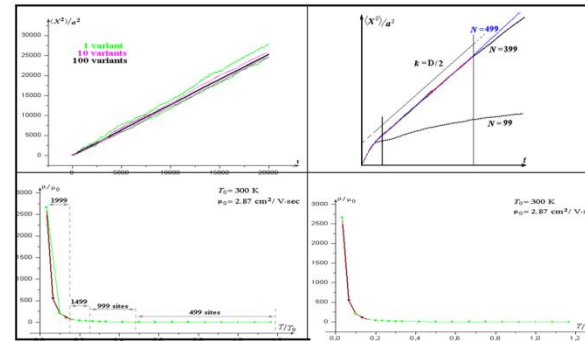
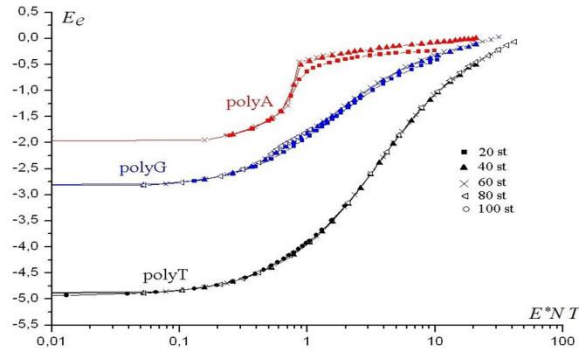
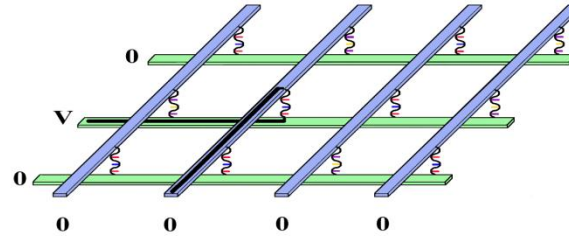
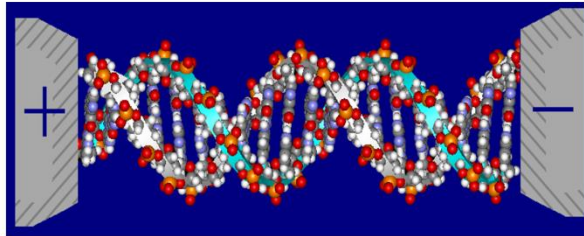
28

Llinás R.R., Rykunov S.D., Walton K.D., Boyko A.I., Ustinin M.N. *Splitting of the magnetic encephalogram into «brain» and «non-brain» physiological signals based on the joint analysis of frequency-pattern functional tomograms and magnetic resonance images*, Frontiers in Neural Circuits. 2022. 16:834434.

Llinás R.R., Ustinin M.N., Rykunov S.D., Walton K.D., Rabello G.M., Garcia J., Boyko A.I., Sychev V.V. *Noninvasive muscle activity imaging using magnetography*, PNAS March 3, 2020 117 (9) 4942-4947;

## 6.2 Нанобиоэлектроника на основе ДНК

### Моделирование переноса заряда в биополимерах



V.D. Lakhno. *DNA nanobioelectronics*.

International Journal of Quantum Chemistry, 2008, v.108, №11, p.1970-1981

Лакно В.Д., Винников А.В. *Молекулярные устройства на основе ДНК*.  
Мат. биол. и биоинф. 2021;16(1):115-135.

N. Fialko, M. Olshevets, V.D. Lakhno.

*Holstein polaron at fixed temperature: influence of the chain length.*

Journal of Physics: Conference Series, 2022, v. 2155, 012033-8

## Научные центры мирового уровня в ИПМ:

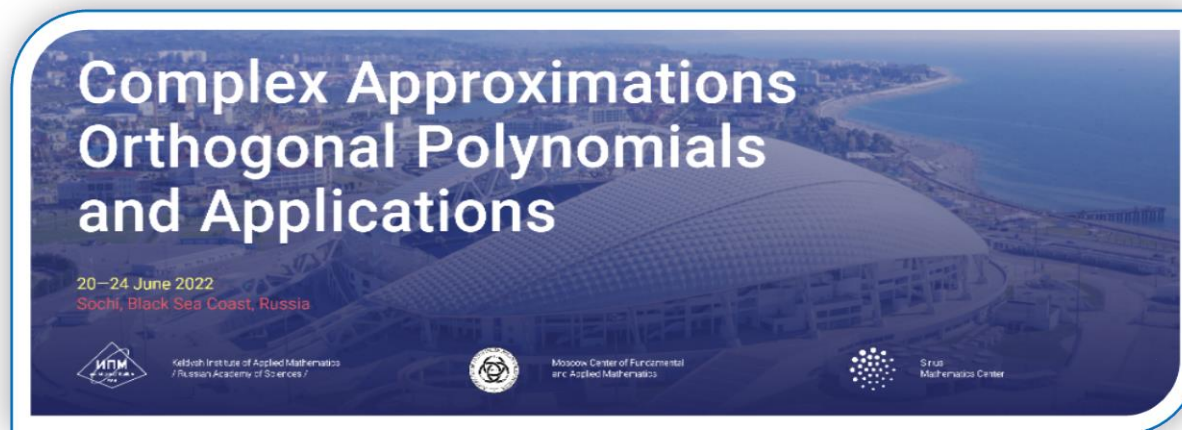


### Математический центр мирового уровня «Московский центр фундаментальной и прикладной математики»

- Консорциум:

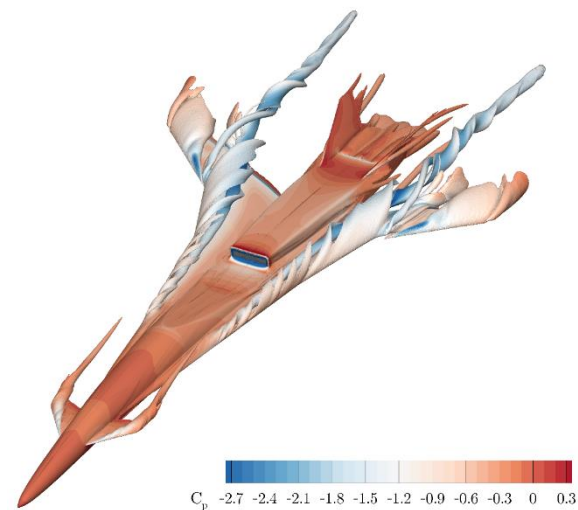
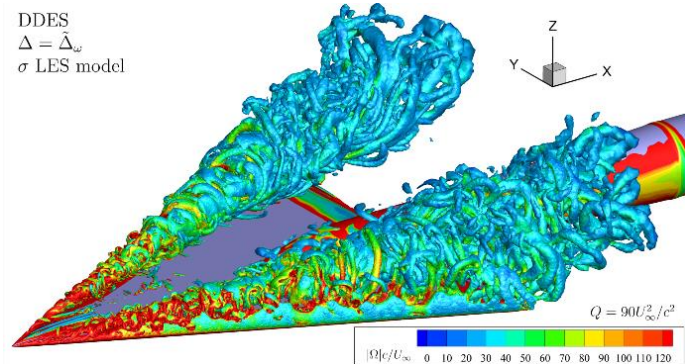


- Направления: теоретическая математика, вычислительная математика, математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления.
- 2022 год – 12 проектов (54 исследователя, 28 молодых)
- 6 международных конференций:

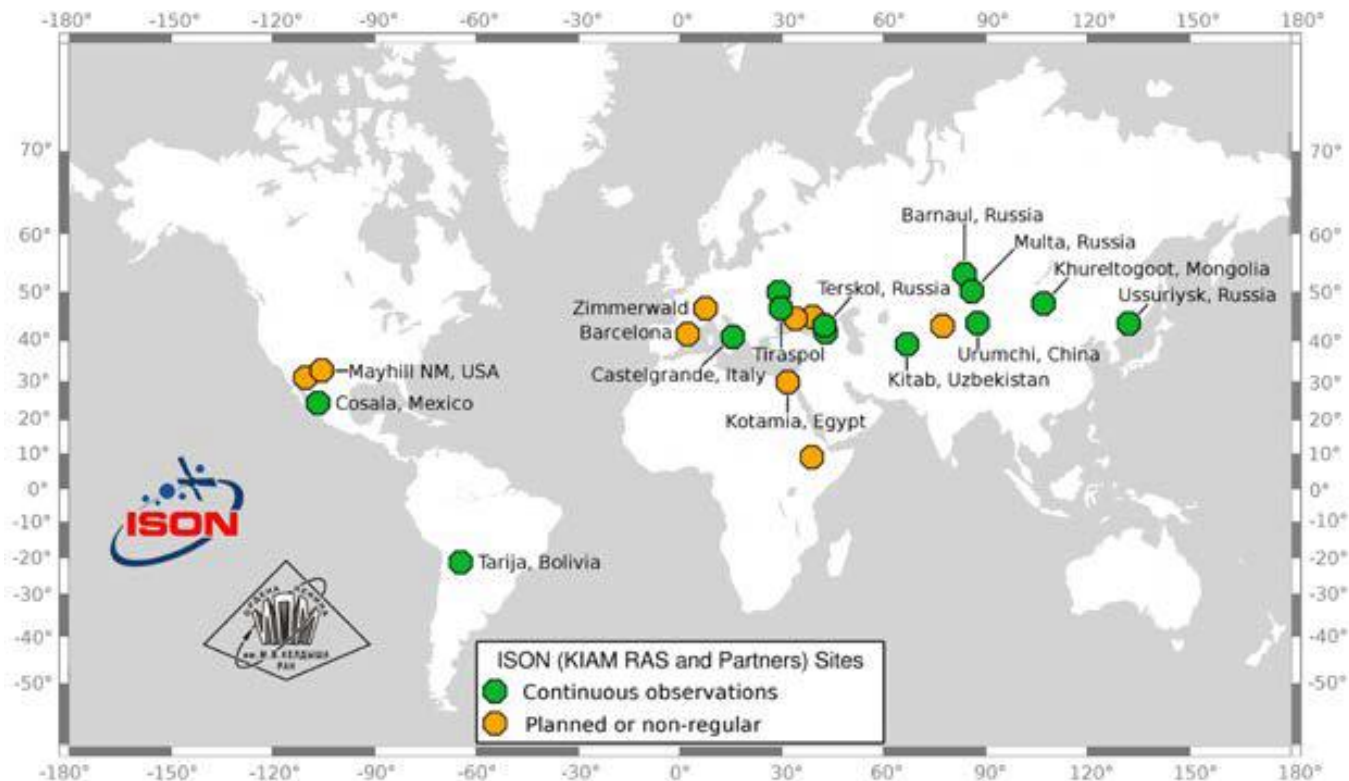


## Научный центр мирового уровня «Сверхзвук»

- Консорциум: ЦАГИ, ИПМ, ЦИАМ, МГУ, МАИ, Пермский центр УрО РАН, ГосНИИАС.
- Цель: Создание сверхзвукового пассажирского самолета
- Задача ИПМ: численное исследование аэродинамических и акустических свойств крыла сверхзвукового пассажирского самолета на режиме посадки
- 2022 год – 20 исследователей, 10 молодых



- Суперкомпьютерный ЦКП
- Сеть оптических наблюдений.



# Образовательная деятельность в ИПМ:



- Базовые кафедры: МГУ, Физтех, МИФИ, (всего 8 вузов)
- Кафедра прикладной математики (ИПМ)
- Аспирантура (ИПМ)  
:



# Международная оценка работ ИПМ в области прикладной математики



- Конференции: Графикон, Аэроакустика, ...

- Конгресс ECCOMASS 2024

- ISONscore - совместный проект:

Управления по вопросам космического пространства ООН и  
Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН



# 70 лет ИПМ им. М.В. Келдыша РАН



**Заключительное слово**