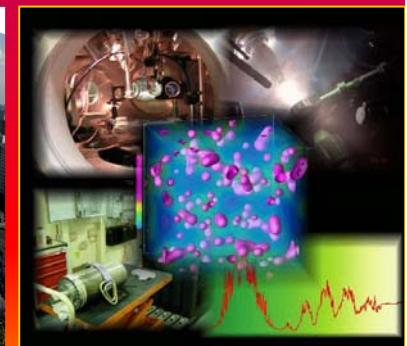




**Объединенный
институт высоких температур РАН**
**Основные научные результаты
2014 года**



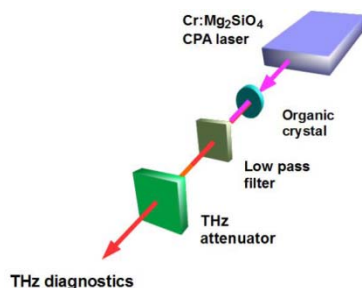
**Физико-технические и экологические
проблемы энергетики; тепломассообмен;
теплофизические и электрофизические
свойства веществ; низкотемпературная
плазма и технологии на ее основе**

Лазерный тераваттный фемтосекундный комплекс ОИВТ РАН

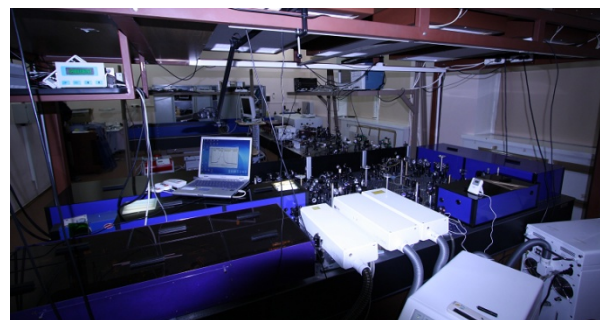
Рекордный по мощности короткоимпульсный источник терагерцового излучения

- Диапазон частот $0.1 \div 5$ ТГц
- Длительность импульса (один период) 200 фс (5 ТГц) – 10 пс (0.1 ТГц)
- Пиковая мощность излучения до 5 GW
- Напряженность электрического поля 42 МВ/см

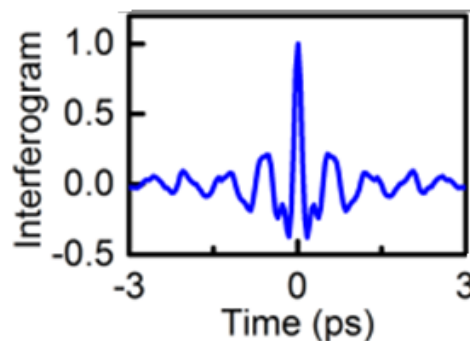
Принцип генерации терагерцового излучения - оптическое выпрямление в нелинейном органическом кристалле



Ключ к получению рекордных параметров - тераваттная фемтосекундная хром-форстерит лазерная система ОИВТ РАН, изготовленная из российских комплектующих изделий и не имеющая аналогов в мире.



Длительность импульса



Применение:

- дистанционное воздействие на вещество
- дистанционная идентификация различных материалов, в том числе биообъектов

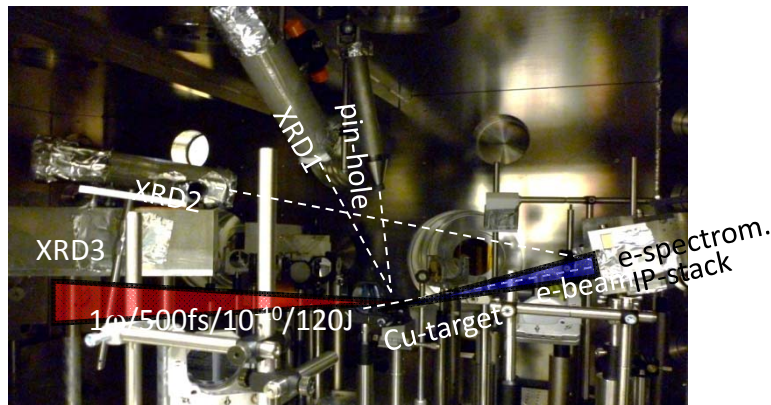
Работа сделана совместно с сотрудниками Paul Scherrer Institute, Швейцария
C. Vicario, A.V. Ovchinnikov, S.I. Ashitkov, M.B. Agranat, V.E. Fortov, and C. P. Hauri «Generation of mJ pulses in the 0.1-5 THz gap with electric field exceeding 80 MV/cm», Optics Letters, Vol. 39, Iss. 23, pp. 6632–6635 (2014) IF 3,2

Руководитель работ Агранат Михаил Борисович, д.ф.м.н

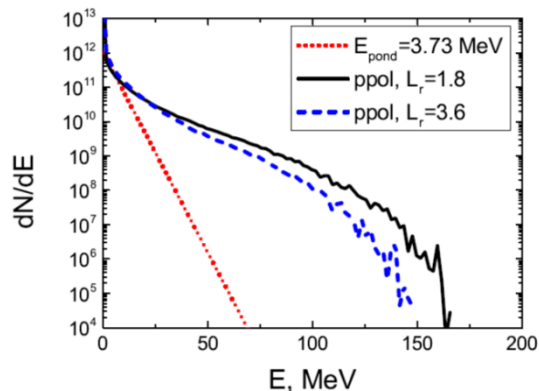


Взаимодействие интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов с твердотельными и кластеризованными структурами для создания источников ускоренных частиц и излучения

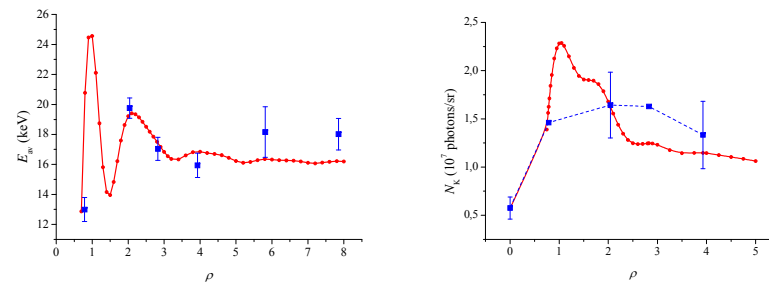
**Подготовленный совместный ОИВТ–GSI–PHELIX проект
Laser electron acceleration at grazing incidence onto the solid target**



Теоретически предсказанные спектры ускоренных электронов указывают на высокую эффективность генерации релятивистских электронных пучков для диагностики неидеальной плазмы:



Результаты моделирования соответствуют измерениям температуры электронов и выхода К α -излучения при вакуумном нагреве электронов в кластере фемтосекундным лазерным импульсом



Средняя энергия электронов и выход К α -излучения из кремниевой мишени, покрытой сферическими кластерами в зависимости от размера кластеров ($\rho = k_0 R$)

Генерация ТГц излучения при воздействии на проводник лазерного импульса, сфокусированного цилиндрической линзой

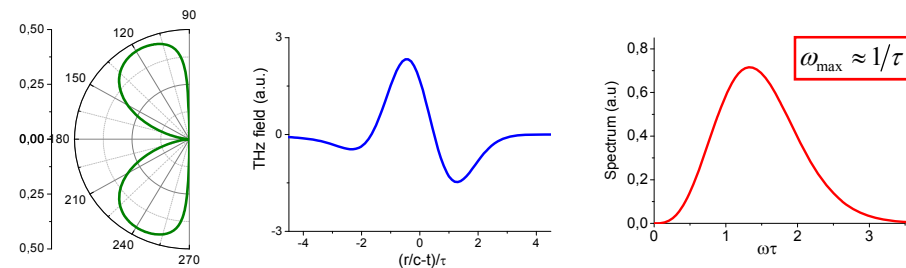
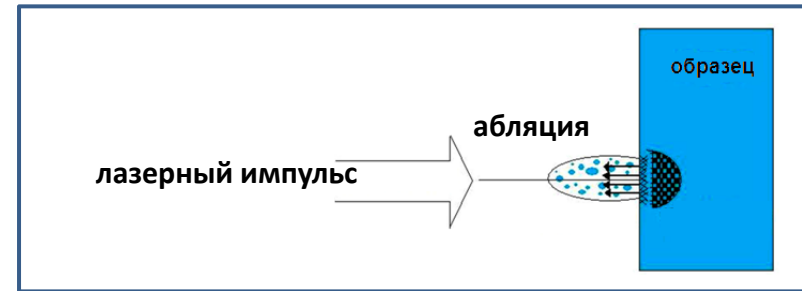
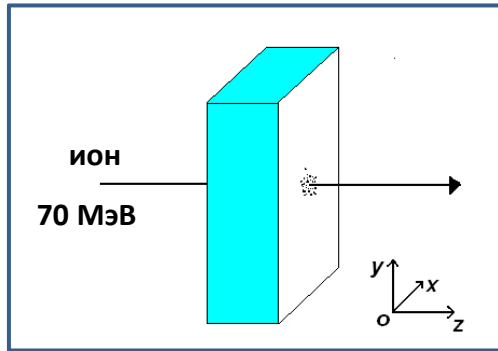
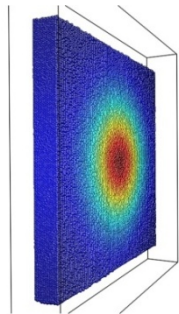


диаграмма направленности и временной профиль и спектр ТГц сигнала, τ - длительность лазерного импульса

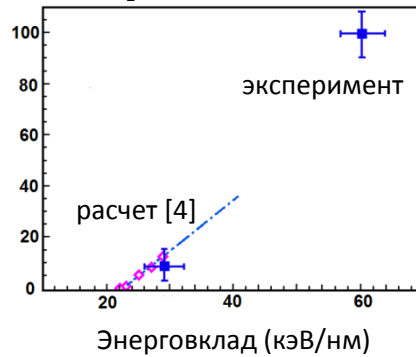
Модификация вещества под облучением ионами и лазерным импульсом



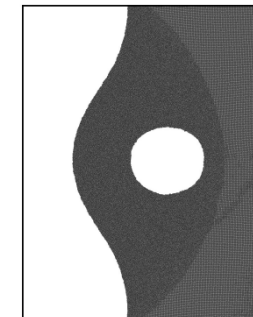
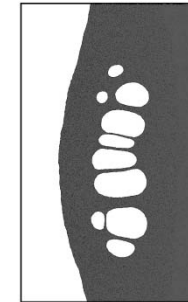
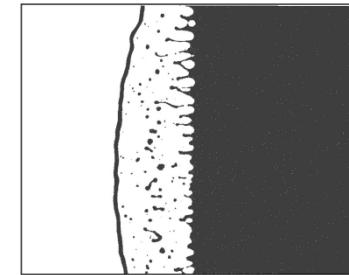
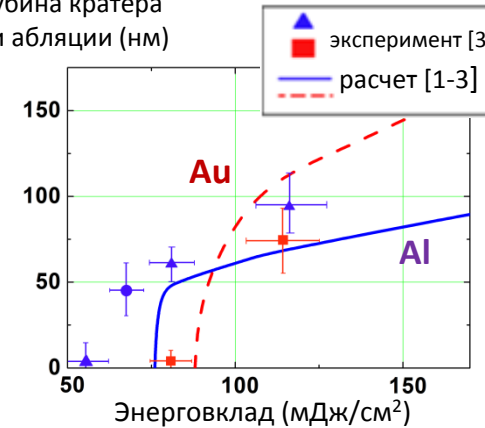
объёмные треки



Площадь радиационного трека в UO_2



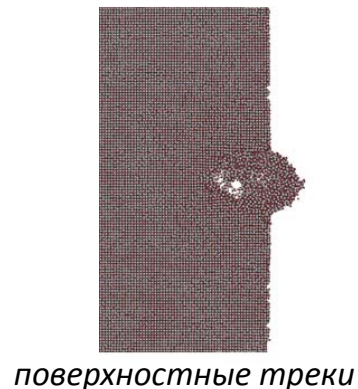
глубина кратера при абляции (нм)



$$C_e \frac{\partial T_e}{\partial t} = \nabla (K_e \nabla T_e) - g_p (T_e - T_i) \quad m \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}_i - \beta \vec{v}_i + \vec{\xi} (T_e) - \frac{\nabla P_e}{\rho_{ion}}$$

Развита единая модель, способная описывать модификацию вещества при облучении ионами и лазерным импульсом. Подобное моделирование позволяет исследовать как процесс создания поверхностных наноструктур лазерным импульсом [1-3], так и процесс радиационных повреждений в ядерных материалах [2,4]

- [1] Норман, Стариков, Стегайлов // ЖЭТФ, т. 141, стр. 910 (2012)
- [2] Norman, Starikov, Stegailov, Saitov, Zhilyaev // Contrib. Plasma Phys. V. 53, P. 129 (2013)
- [3] Starikov, Faenov, Pikuz, Skobelev, Fortov et al. // Appl. Phys. B: Lasers and Optics V. 116 (2014)
- [4] Pisarev, Starikov // J.Phys.:Condens.Matter, V. 26 (2014)



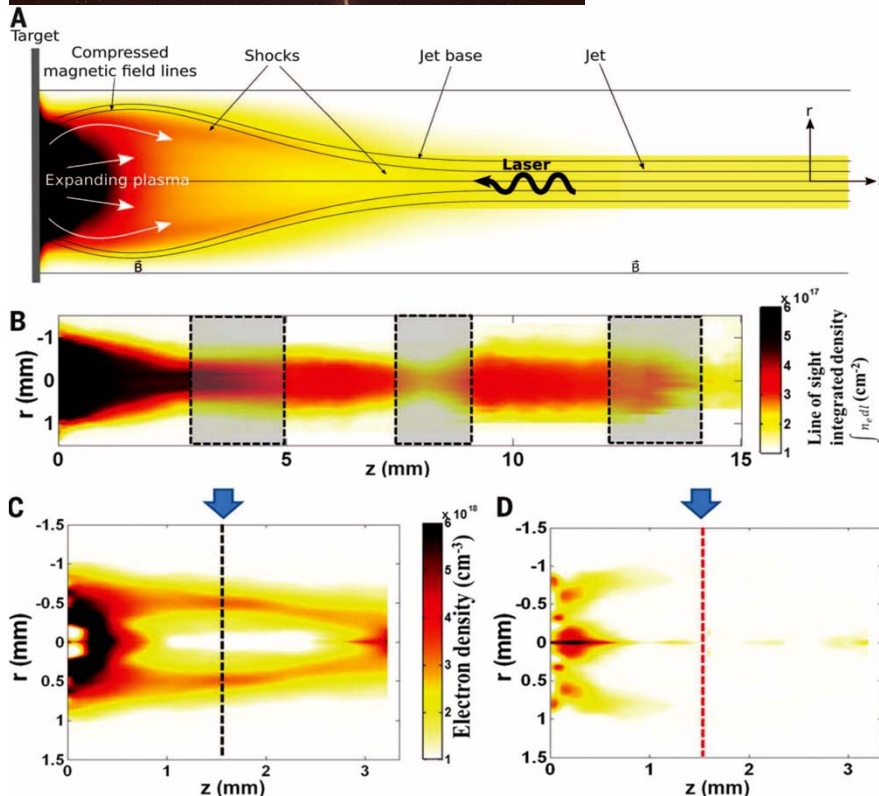
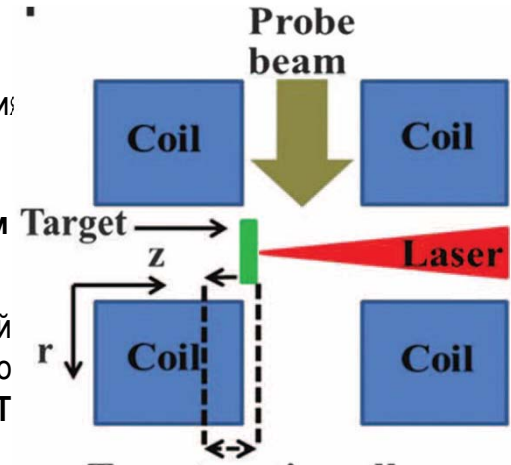
Воссоздание в лабораторных условиях плазменных струй в молодых звездных образованиях в присутствии сильного полоидального магнитного поля (лаб. №1.2.5, к.ф.-м.н. Пикуз Сергей Алексеевич)



Астрофизический объект – сверхзвуковые выбросы плазмы (джеты) на полюсах протозвездного образования

Лабораторная астрофизика с использованием мощных лазерных импульсов

Схема эксперимента по генерации плазменных струй с помощью нс лазера, в присутствии внешнего магнитного поля 20 Т



Коллимирование плазменного потока во внешнем магнитном поле, карта электронной плотности Al плазмы.

Экспериментальные и модельные результаты по измерению интегрального профиля плотности плазменной струи в присутствии (C) и в отсутствии (D) внешнего магнитного поля

- ✓ Подтвержден механизм генерации сверхзвуковых и узконаправленных плазменных струй за счет воздействия полоидальных магнитных полей.
- ✓ Доказано существование в основании магнитно-коллимированной струи интенсивного рентгеновского источника.
- ✓ Результаты отлично согласуются с астрономическими наблюдениями для целого ряда молодых звездных объектов.

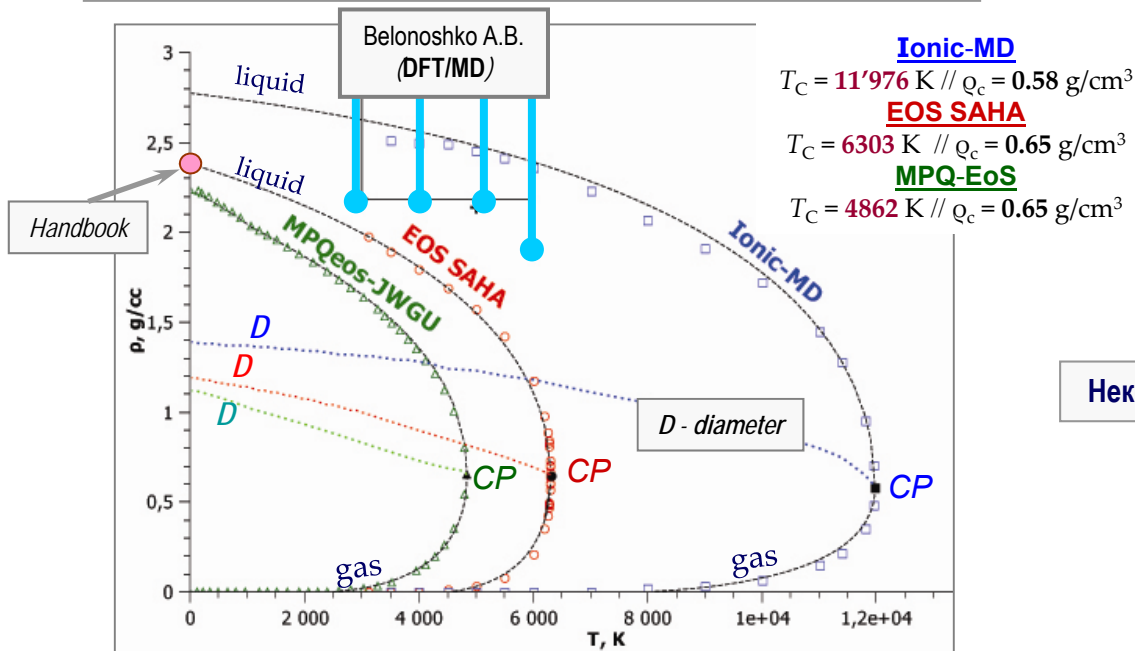
Опубликовано в *Science* 346, 325 (2014)



Исследования физики фазовых превращений в веществе экстремальных параметров в земных и космических приложениях

Руководитель работ: д.ф.м.н. Иосилевский Игорь Львович (НИЦ-1)

Расчет фазовой диаграммы диоксида кремния (SiO₂)



EOS SAHA – Quasi-chemical model (*Non-ideal multi-component mixture*)

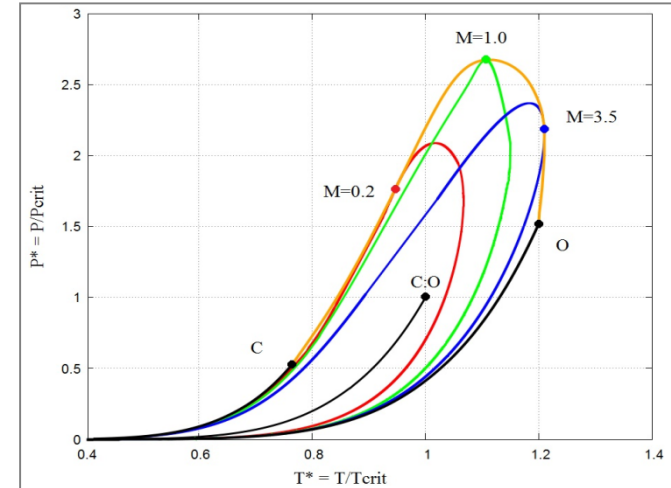
MPQ-EoS – Modified Semi-empirical EOS (*wide-range*) (*S.Faik et al.*)

Ionic-MD – MD simulations for Ionic Model of SiO₂ (Si⁴⁺ + 2O²⁻)

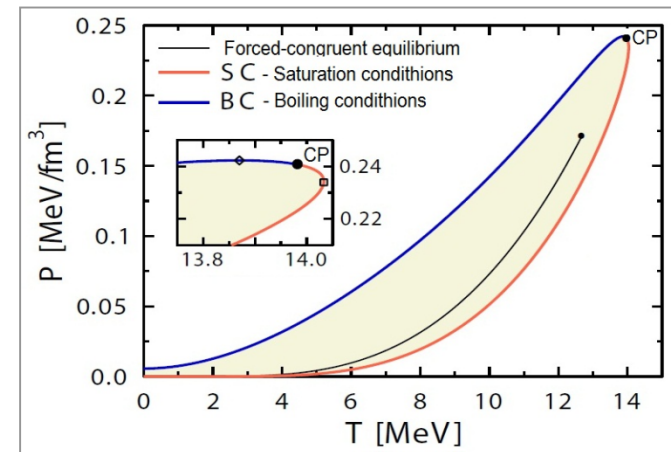
Iosilevskiy I., Gryaznov V., Solov'ev A.

High Temperature - High Pressure, **43**, 227 (2014)

High-temperature phase diagram and critical point parameters in silica (SiO₂)



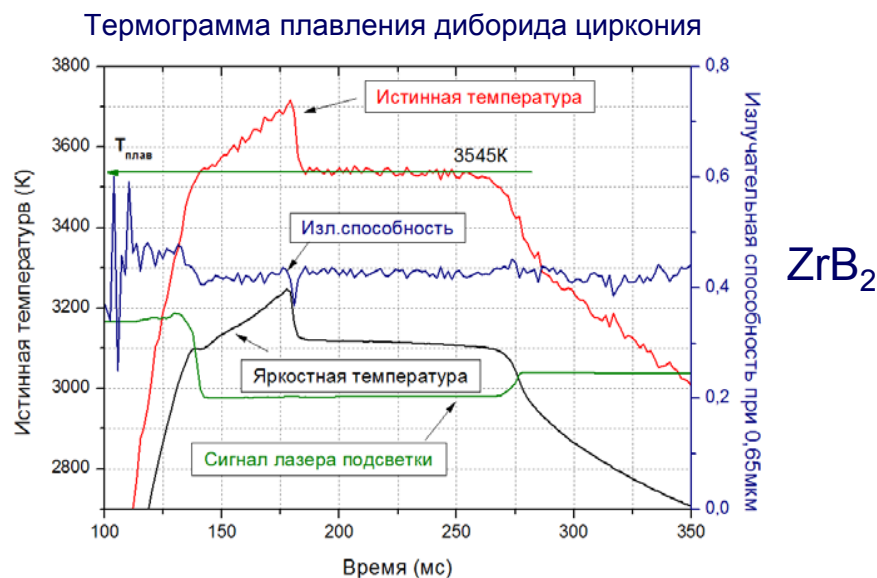
Неконгруэнтный фазовый переход в ионной модели плазмы



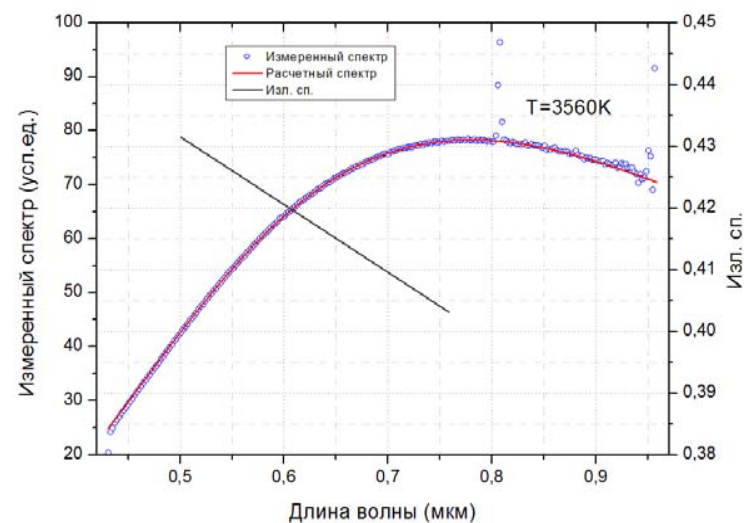
Неконгруэнтный фазовый переход в сверхплотной плазме протонов, нейтронов и ядер

Теплофизические свойства и условия плавления сверхтугоплавких карбидов, диборидов и смешанных карбидов

- С помощью методов лазерного нагрева получены данные по температурам плавления наиболее тугоплавких из известных материалов: карбида тантала TaC_x в широкой области составов и температурам плавления смешанных карбидов - $HfC \cdot 3,5TaC$, $HfC \cdot 4TaC$, $HfC \cdot 4,5TaC$. **Не было подтверждено** известное ранее предположение о том, что температуры плавления смешанных карбидов превышают температуру плавления TaC ;
- Разработана лабораторная технология изготовления образцов карбидов переменного состава, смешанных карбидов и тугоплавких диборидов с плотностью до 90%.
- Получены данные по значениям излучательной способности диборидов циркония и гафния в твердом и жидком состоянии вблизи температуры плавления.



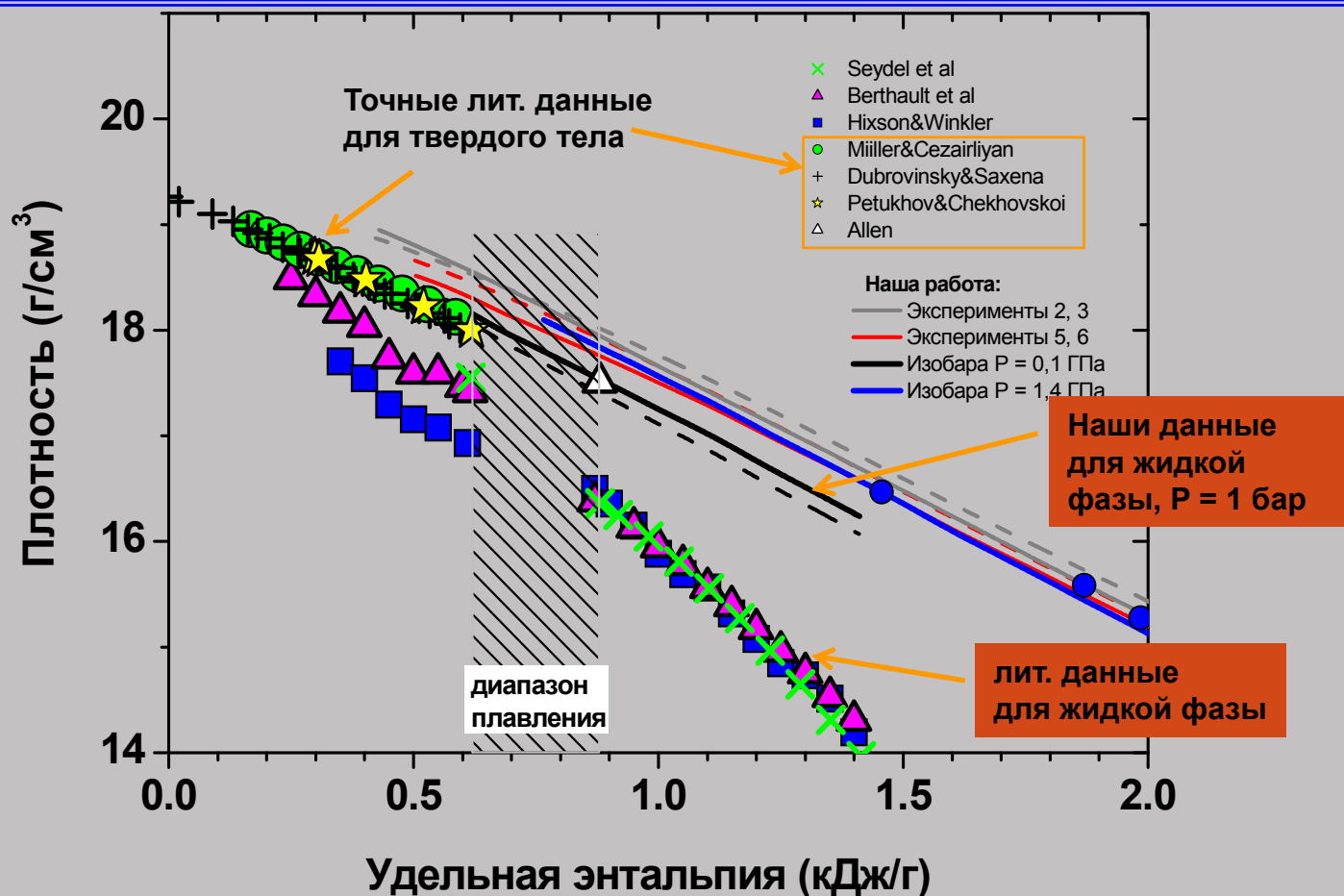
Спектры излучения в точке плавления и определение излучательной способности



д.ф.-м.н. Шейндлин Михаил Александрович

Проведены интерференционные измерения теплового расширения жидкого вольфрама, которые позволили существенно уточнить значение его коэффициента теплового расширения. Важность этого результата связана с тем, что коэффициент теплового расширения определяет прочность и эрозию конструкций из вольфрама в токамаках и разрядах с вольфрамовым катодом.

V. N. Korobenko, A.D. Rakhel, *J. Phys.: Condens. Matter* 26, 045701 (2014)

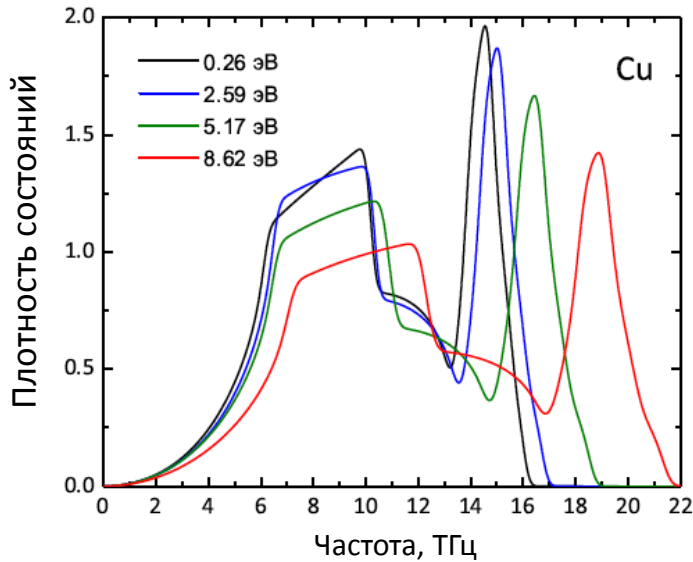


Рук. работ: к.ф.-м.н. Ракель А.Д., НИЦ-1

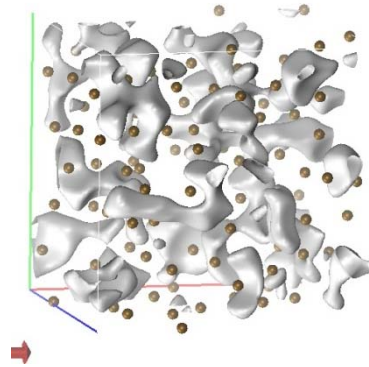
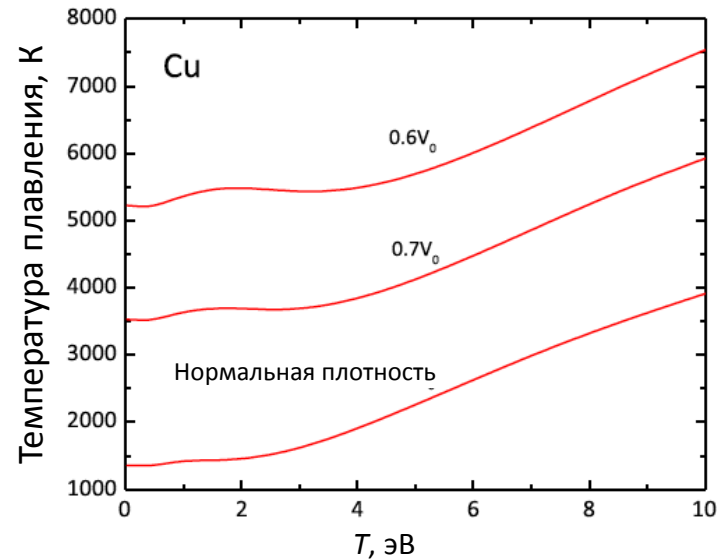


ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ

Влияние нагрева электронов на фонный спектр кристалла Cu



Упрочнение кристалла Cu с повышением температуры электронов



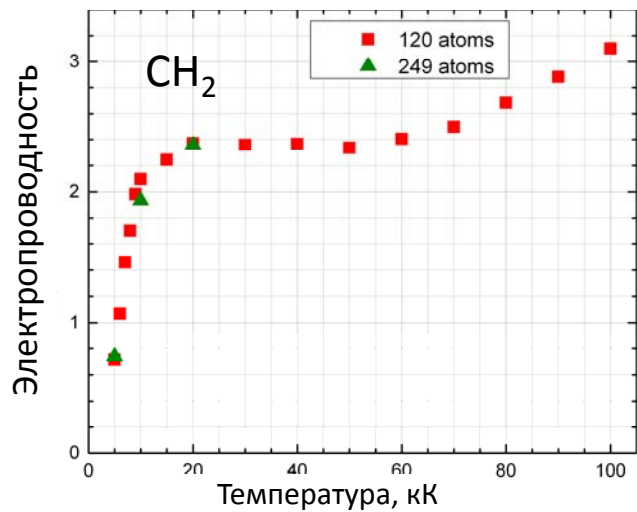
Критерий Линдемана

$$T_m = \frac{(Ld_{NN})^2}{k_B} \frac{M}{\langle \omega^{-2} \rangle}$$

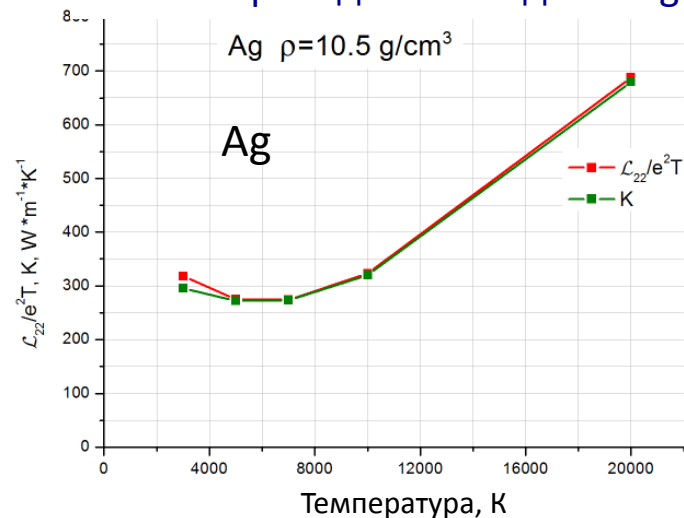
$$\langle \omega^{-2} \rangle = \int_0^\infty \frac{g(\omega)d\omega}{\omega^2}$$

Свойства кристалла из первопринципного расчета

Электропроводность плазмы CH₂



Теплопроводность жидкого Ag

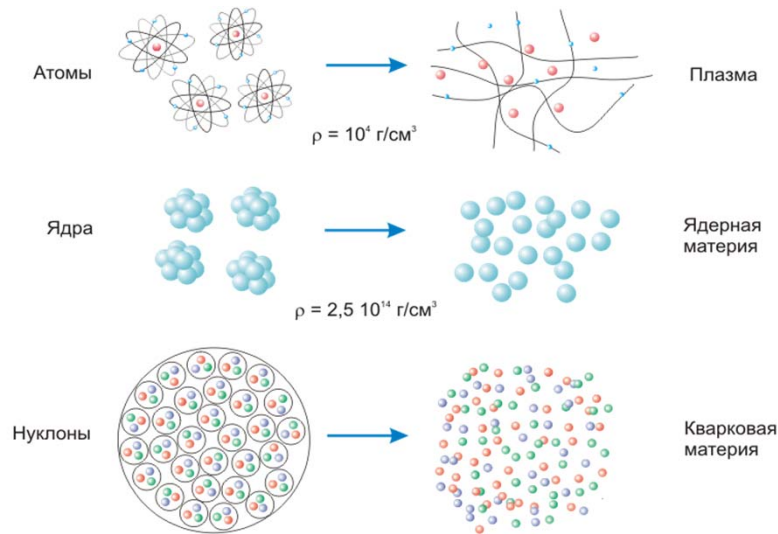


Князев Д.В.
Минаков Д.В.
Левашов П.Р.

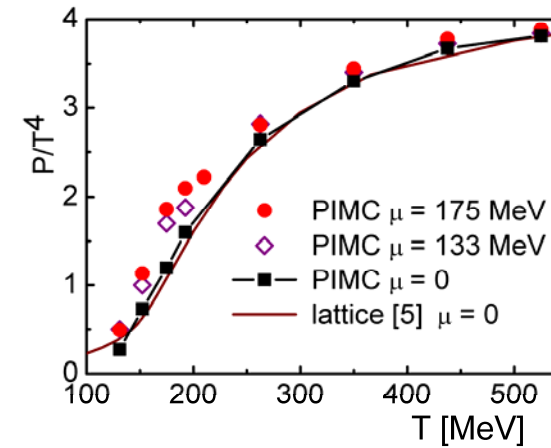


Квантовое моделирование термодинамических и кинетических свойств неидеальной релятивистской кварк – глюонной плазмы

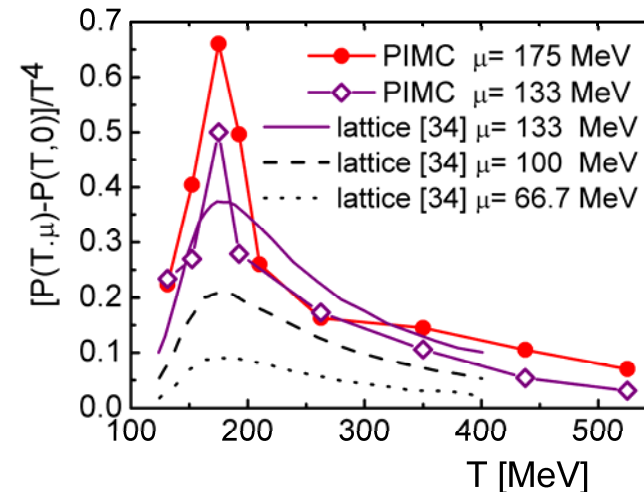
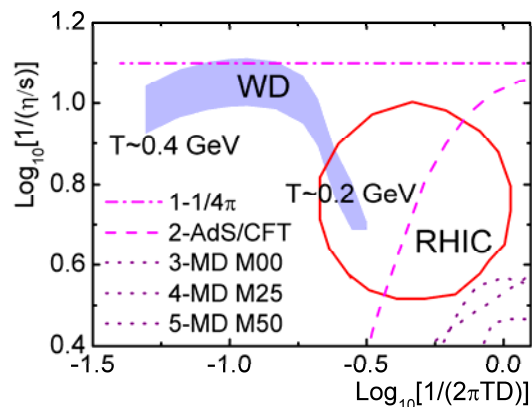
Превращения вещества при больших давлениях и высоких температурах



Уравнение состояний (P). Сравнений с расчетами в решеточной модели КХД



Коэффициенты диффузии и сдвиговой вязкости
Сравнение с экспериментальными оценками RHIC

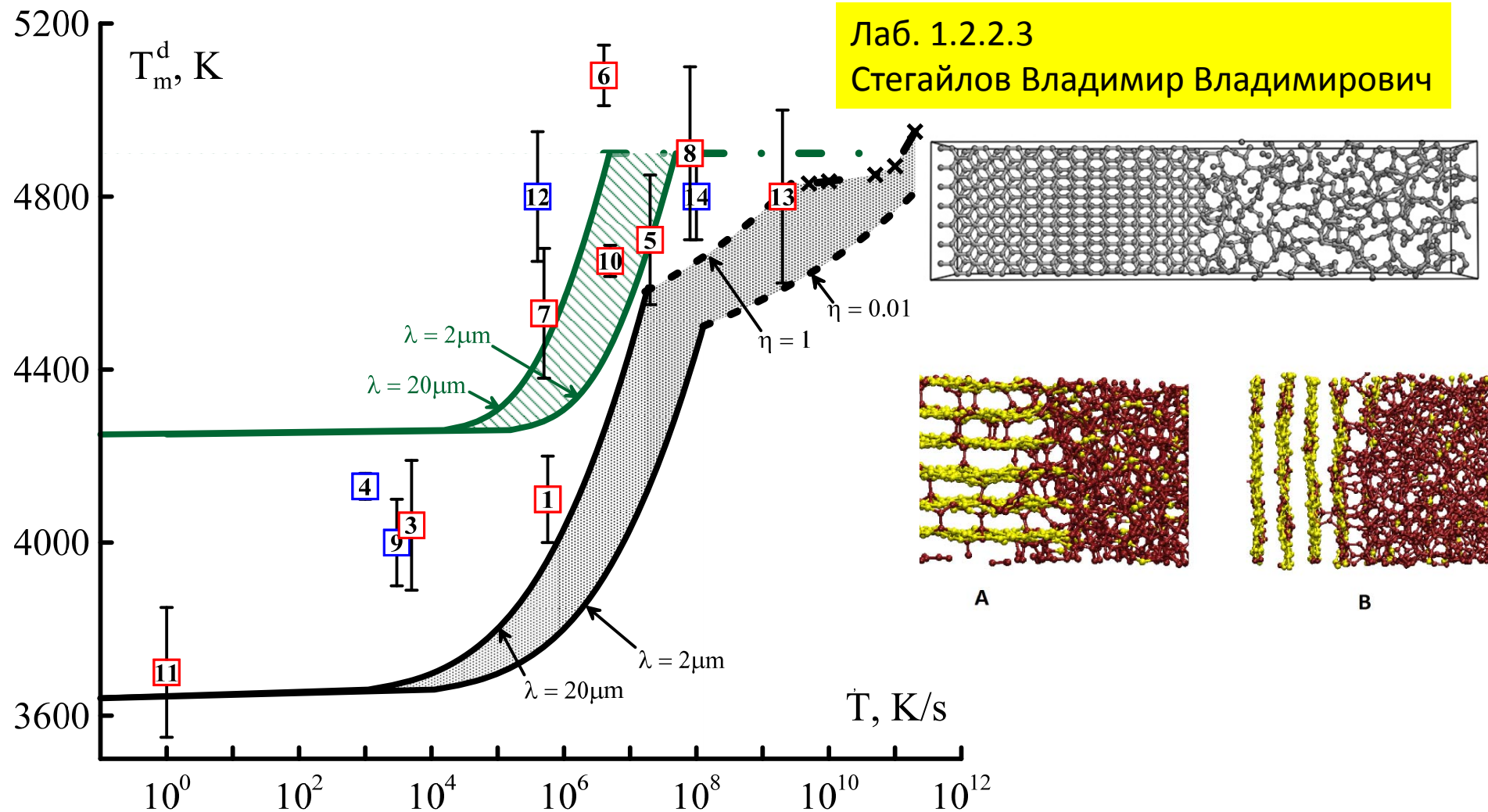


Рук. работ: д.ф.-м.н. Филинов Владимир Сергеевич

Экспериментально детектируемая температура плавления графита в зависимости от скорости нагрева

Лаб. 1.2.2.3

Стегайлов Владимир Владимирович

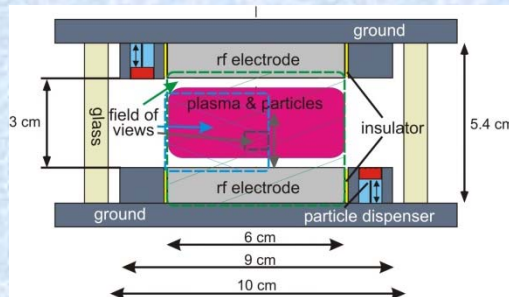


1- Bundy (1963), 2 - Schoessow (1968), 3 - Фатеева и Верещагин (1971), 4 - Gokcen et al (1976), 5 - Шейндлин и др. (1988),
 6 - Баитин и др. (1990), 7 - Cezairliyan, Miller (1990), 8 - Pottlacher et al (1993), 9 - Асиновский и др. (1997), 10 - Togaya (1997),
 11 - Асиновский и др. (1998), 12 - Musella et al (1998), 13 - Савватимский (2003), 14 - Башарин и др. (2004).

Н. Д. Орехов, В. В. Стегайлов, Кинетика плавления графита // Доклады Академии Наук, 2015, том 461, № 2.

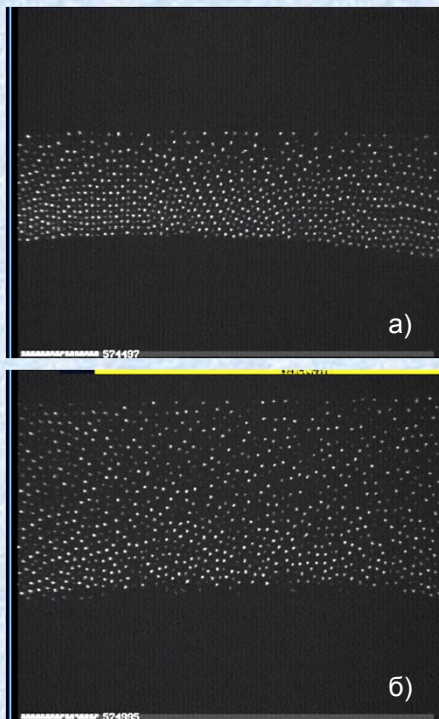
N. D. Orekhov, V. V. Stegailov, Graphite melting: atomistic kinetics bridges theory and experiment // Carbon. DOI: 10.1016/j.carbon.2015.02.049

Плавление и кристаллизация в большой 3D плазменно-пылевой системе

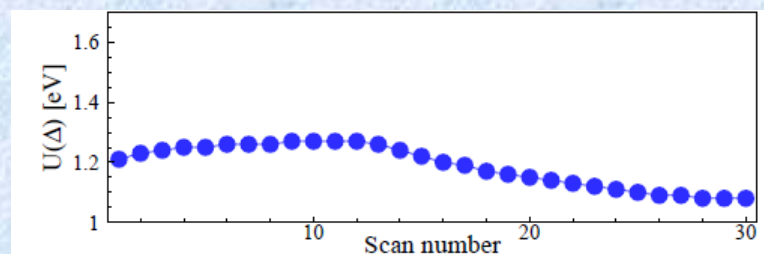
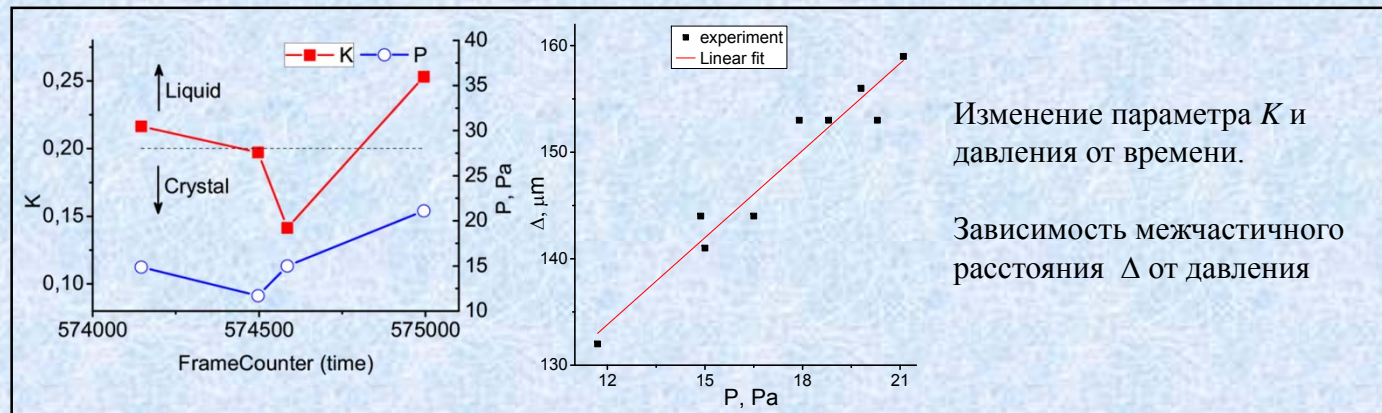


Плазменная камера установки «Плазменный кристалл-3 Плюс» на МКС

На экспериментальной установке «ПК-3 Плюс» проведено исследование перехода жидкость-кристалл в большой 3D плазменно-пылевой системе в условиях микрогравитации. В экспериментах первоначально формировалась структура из частиц диаметром 1,55 мкм при давлении аргона $p = 30$ Па. Затем давление варьировалось в диапазоне от 30 до 10 Па. Степень упорядоченности плазменно-пылевой системы определялась по парной корреляционной функции $g(r)$ и параметру $K = g_{min}/g_{max}$, где g_{min} – первый минимум $g(r)$ и g_{max} – первый максимум $g(r)$ от давления. Значения K свидетельствуют о наблюдении перехода от кристалла к жидкости. Межчастичное расстояние Δ строго коррелирует с давлением p . Рост Δ является основным фактором, ответственным за плавление плазменно-пылевого кристалла. При снижении давления Δ уменьшается, плазменно-пылевая система испытывает сжатие и кристаллизуется (замерзает). Процесс плавления плазменно-пылевой системы, исследованный в данных экспериментах в условиях микрогравитации, совершенно отличен от специфически плазменных механизмов, действующих при наличии силы тяжести. Однако этот процесс имеет много общего с обычными молекулярными системами и частично-упорядоченными средами (например, коллоиды) или системами так называемой мягкой материи (soft matter).



Видеоизображения части плазменно-пылевой системы
 а) $p = 11,7$ Па – кристалл
 б) $p = 21,1$ Па – жидкость



$$U(\Delta) = (Q^2 / \Delta) \exp(-\Delta / \lambda)$$

Изменение энергии взаимодействия U при варьировании давления в процессе эксперимента
 Q – заряд, λ – длина экранирования

Запуск российско-европейской научной аппаратуры “Плазменный кристалл-4” (ПК-4) на МКС и начало ее эксплуатации в составе научного модуля Columbus

Постановщики эксперимента:



Объединенный институт
высоких температур РАН



Институт внеземной физики
Общества им Макса Планка

Сентябрь-октябрь 2014 года

Приемо-сдаточные испытания и предстартовая подготовка НА ПК-4 на космодроме Байконур



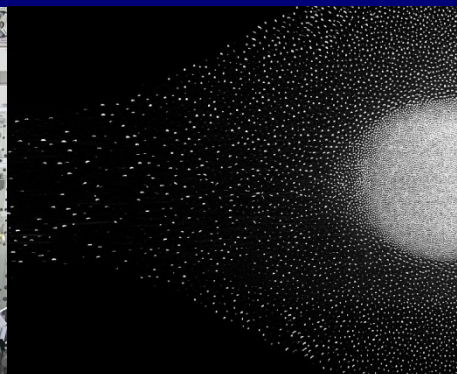
29 сентября 2014 г
Запуск и доставка НА ПК-4 на МКС



27 ноября 2014 г
Монтаж НА ПК-4 в стойку Columbus



июнь 2015 г
Первый эксперимент на орбите



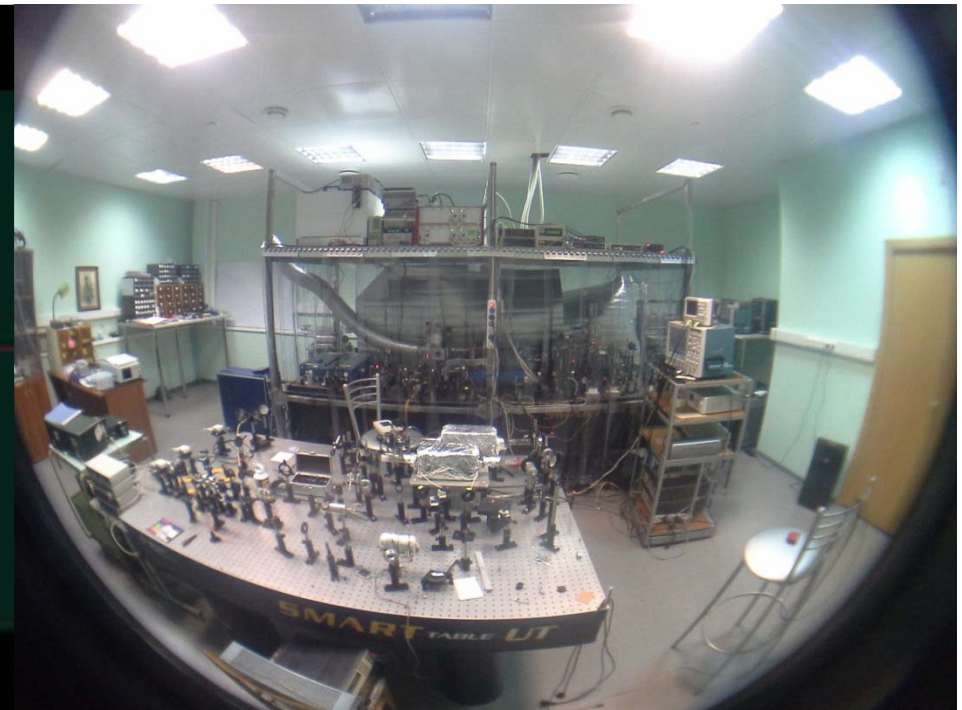
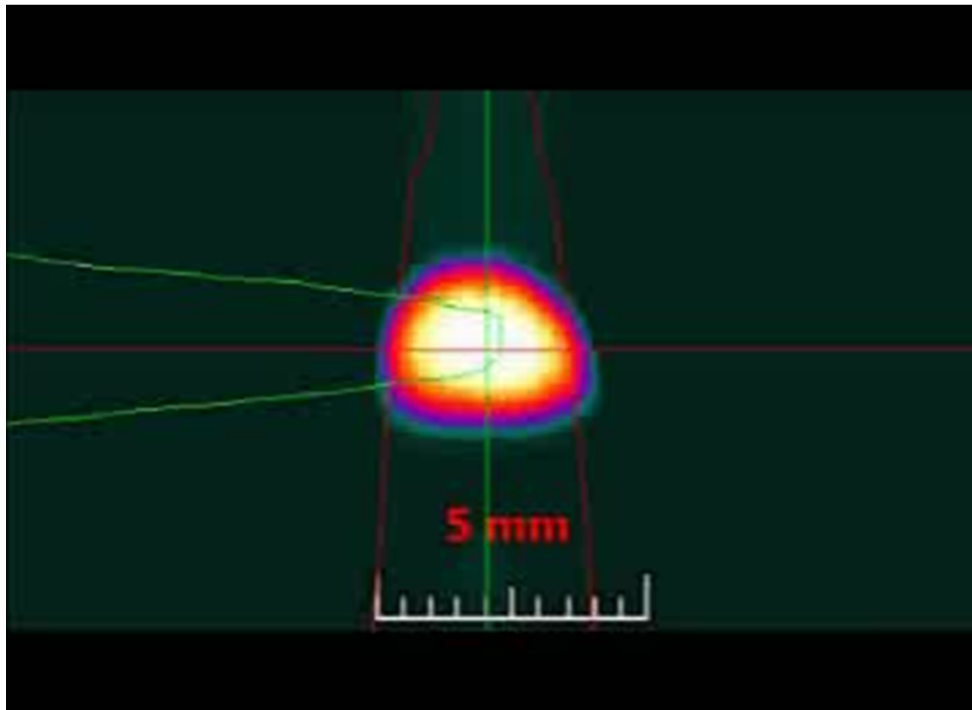
Лаб. 1.2.1.1, зав. лаб. к.ф.-м.н. Усачев А.Д.

Установка по созданию ридберговского вещества и ультрахолодной плазмы в магнитооптической ловушке



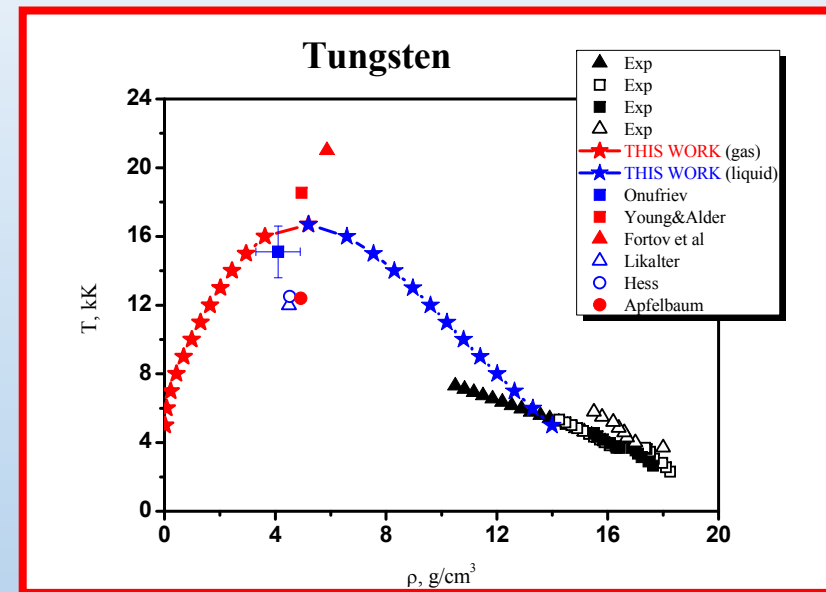
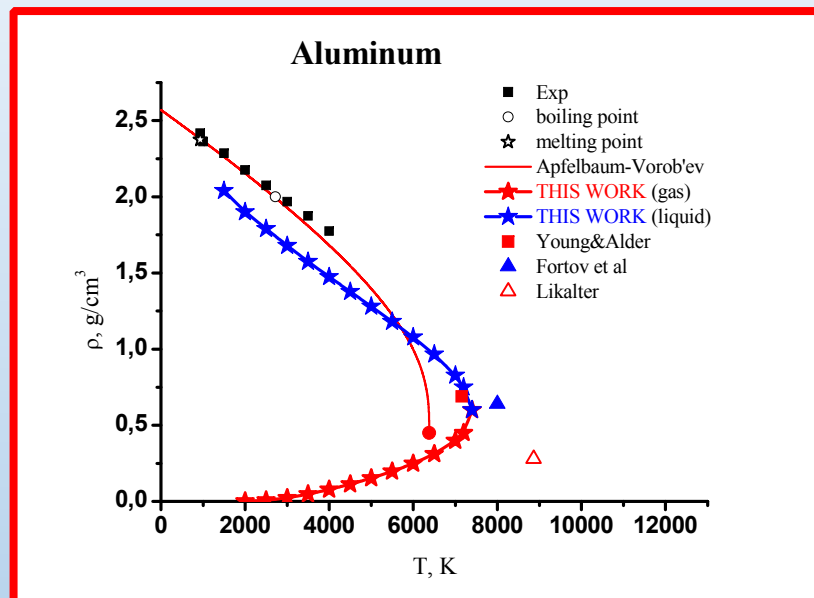
Создан прецизионный оптический детектор квантовых ридберговских состояний ультрахолодных атомов. Он позволил улучшить точность определения частот ридберговских состояний на порядок по сравнению с имеющимися мировыми данными по литию, представленные в библиотеке NIST, USA.

*Лаб. теплофизических свойств материалов ОИВТ РАН
Рук. работ Зеленер Б.Б.*



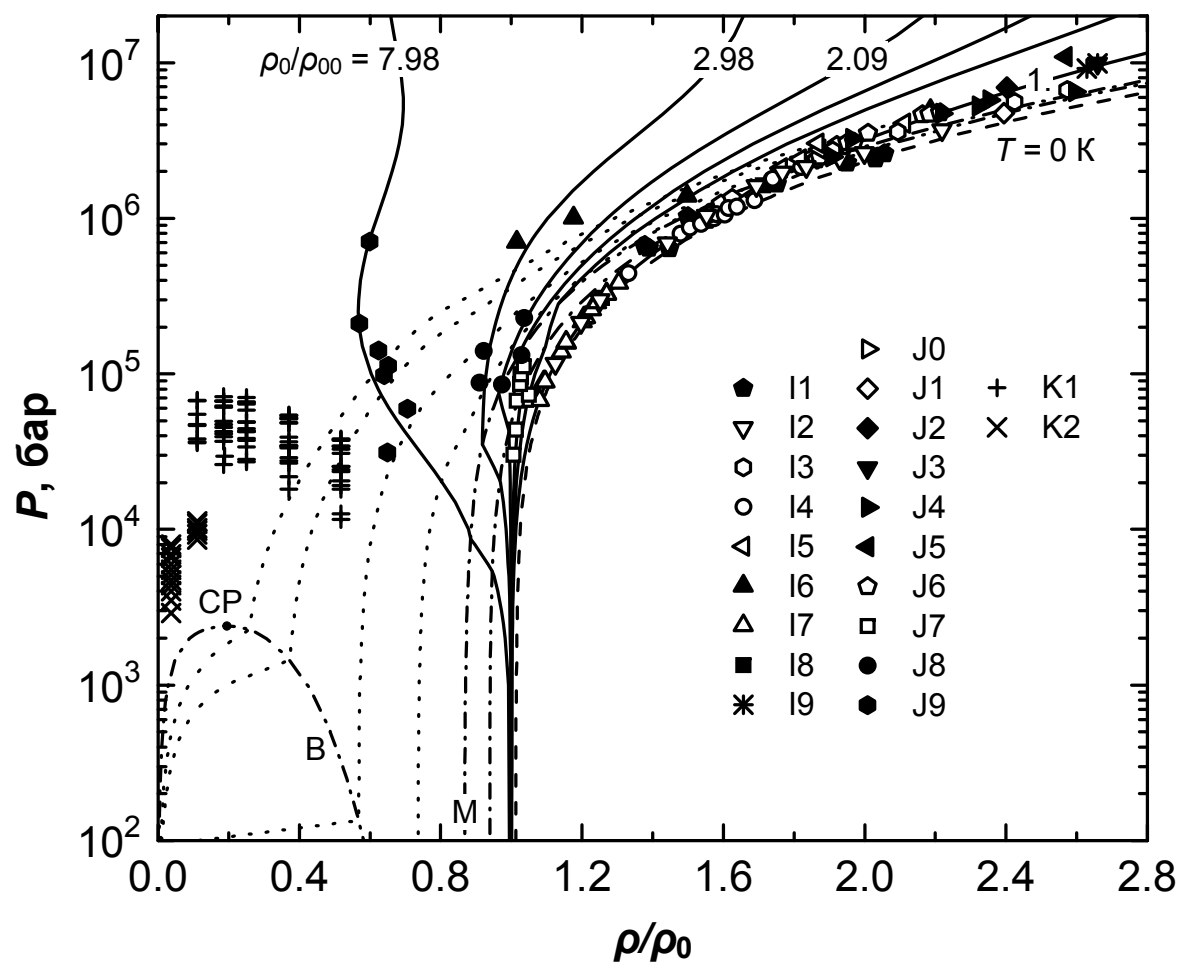
Теоретический отдел: ХОМКИН Александр Львович, г.н.с.

Предложена единая модель расчета параметров критических точек и бинадали перехода пар-жидкость (диэлектрик-металл) в парах металлов (всех), атомарном водороде и экситонах.



**Свойства металлов в окрестности критической точки
Определяются
— квантовым, коллективным притяжением**

Диаграмма состояний алюминия, которые исследованы в экспериментах при высокой концентрации энергии



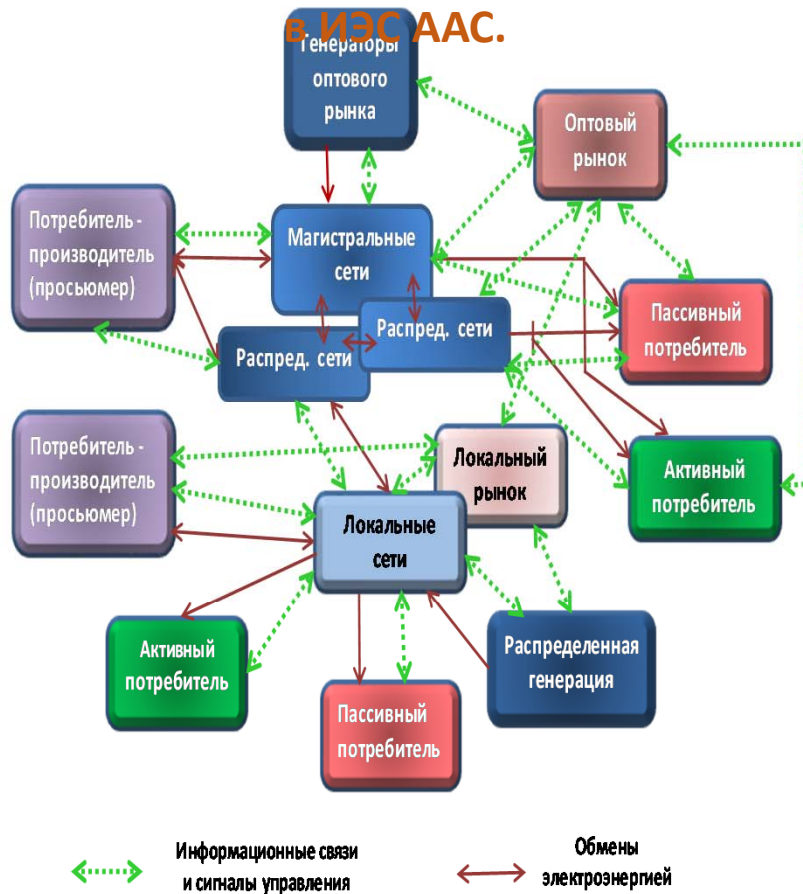
Расчетные кривые:
 штриховая линия —
 изотерма $T = 0 \text{ K}$,
 сплошные линии —
 ударные адиабаты
 образцов с начальной
 плотностью $\rho_{00} = 2.71$,
 1.89, 1.6, 1.3, 0.91 и
 0.34 г/см³ (справа налево,
 соответственно), пунктир
 — изоэнтропы разгрузки,
 штрих-пунктир — границы
 областей фазовых
 переходов (M — кристалл–
 жидкость, B — жидкость–
 пар, CP — критическая
 точка перехода жидкость–
 пар).

**Фундаментальные проблемы современной
электротехники, импульсной и
возобновляемой энергетики**

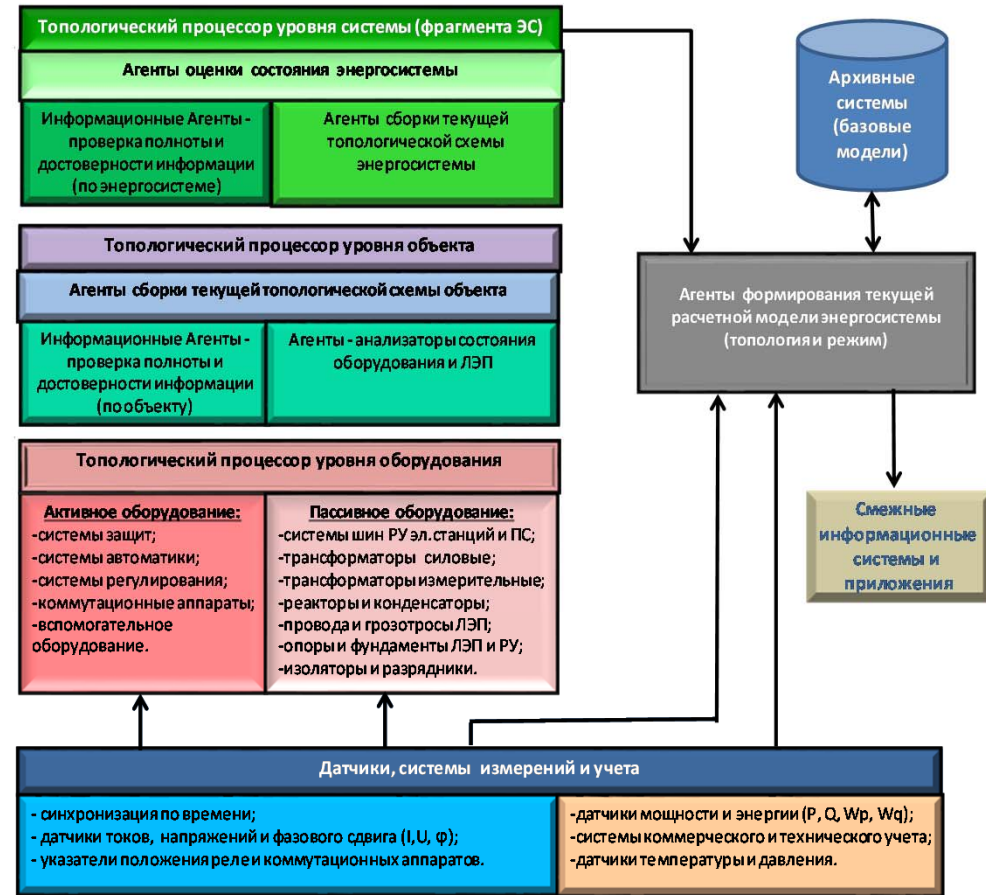


Топологический процессор – центральное ядро системы управления интеллектуальной энергосистемы

Общая схема информационных обменов и управляющих команд



Логическая схема топологического процессора



Рук. работ: Дорофеев Владимир Валерианович, лаборатория 1-7
Интеллектуальная энергетика

**Механика жидкости, газа и плазмы,
многофазных и неидеальных сред,
механика горения, детонации и взрыва.**



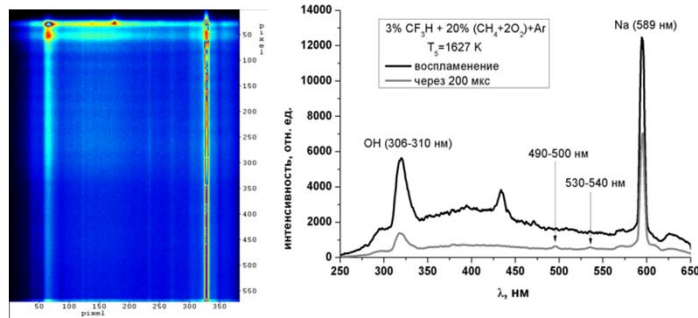
Анализ влияния квантовых эффектов и химически активных ингибирующих добавок на воспламенение и детонацию горючих смесей

Цель данной работы - изучение роли квантовых эффектов, способных оказывать влияние как на развитие цепных реакций воспламенения, так и на пиролиз используемых ингибиторов детонации

Влияние квантовых эффектов на скорости эндотермических химических реакций

$$k = k_0 e^{-\frac{\Delta E_0}{kT}} \left(1 + \varphi e^{-\frac{\Delta E_r}{kT}} \right) \quad (1)$$

Спектры зоны горения в смеси 3% CF₃H + 20% (CH₄ + 2O₂) + Ar



$$\varphi = \frac{1.12 \cdot P^{(am)}}{(E_r^{(grad)} + T)\sqrt{T}} \sum_i C_i \left(\frac{\sigma_{0al}}{10^{-15}} \frac{1}{\sqrt{A_a}} \left(\frac{A_b}{A_a + A_b} \right)^{2/3} \left(\frac{A_a + A_i}{A_i} \right)^{1/6} + \frac{\sigma_{0bl}}{10^{-15}} \frac{1}{\sqrt{A_b}} \left(\frac{A_a}{A_a + A_b} \right)^{2/3} \left(\frac{A_b + A_i}{A_i} \right)^{1/6} \right) \quad (2)$$

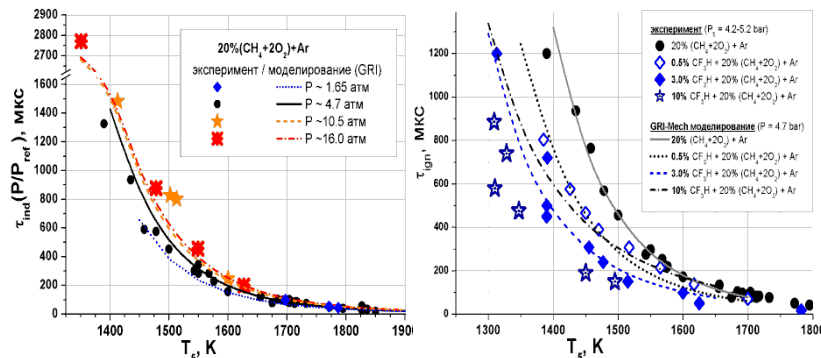
где $k_0 e^{-\frac{\Delta E_0}{kT}}$ – классическое аррениусовское выражение для скорости реакции, $E_r = \Delta E_0 - Q$ (ΔE_0 – энергия активации, Q – теплота реакции), а φ – квантовая поправка.

Основной результат:

Экспериментально определены температурные зависимости времен задержек воспламенения и температур в зоне горения метано-кислородных и ацетиленовых смесей, содержащих ингибирующие добавки, а также проведены прямые измерения временных профилей концентраций продуктов реакции диссоциации ингибирующих добавок с использованием метода молекулярно-резонансной абсорбционной спектроскопии (МРАС) и выполнена оценка возможности проявления квантовых эффектов в наблюдаемой закономерности.

Показано, что влияние квантовых эффектов на инициирование воспламенения и кинетику пиролиза ингибиторов в области исследованных параметров несущественно.

Экспериментальные и расчетные времена индукции метано-кислородной смеси при различном содержании трифторметана

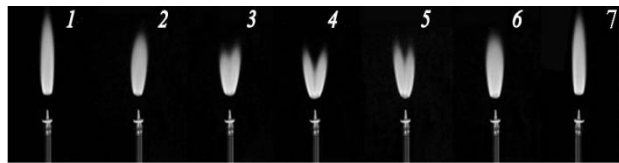


Бифуркация пламен и струй при акустическом воздействии

Повышение эффективности горения.

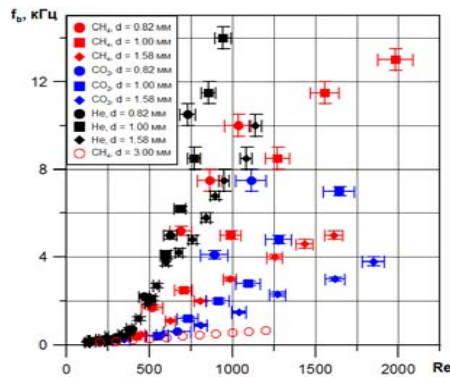
Голуб Виктор Владимирович, д.ф.-м.н.

Фотографии факела при акустическом воздействии



5.5 kHz 4.5 kHz 3.5 kHz 3.0 kHz 2.5 kHz 1.5 kHz 0.0 kHz

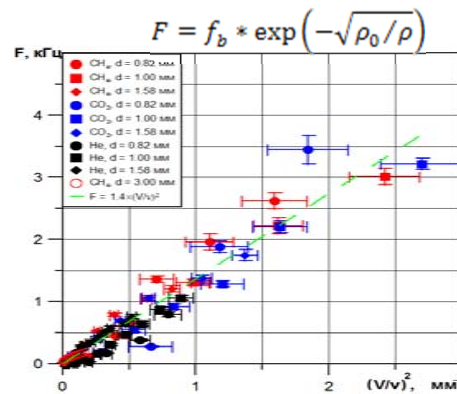
Зависимость пороговой частоты бифуркации от числа Рейнольдса



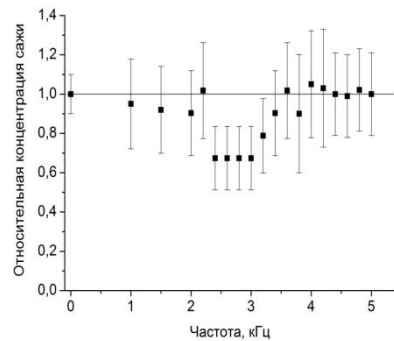
Предложен критерий бифуркации

$$f < 1.4 \times \left(\frac{V}{v} \exp \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} \right) \right)^2$$

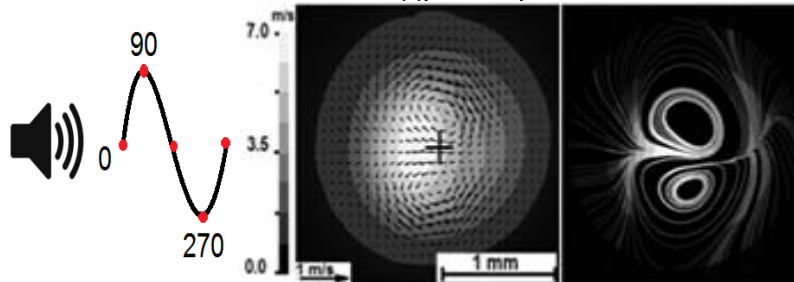
в координатах $F((V/v)^2)$, где



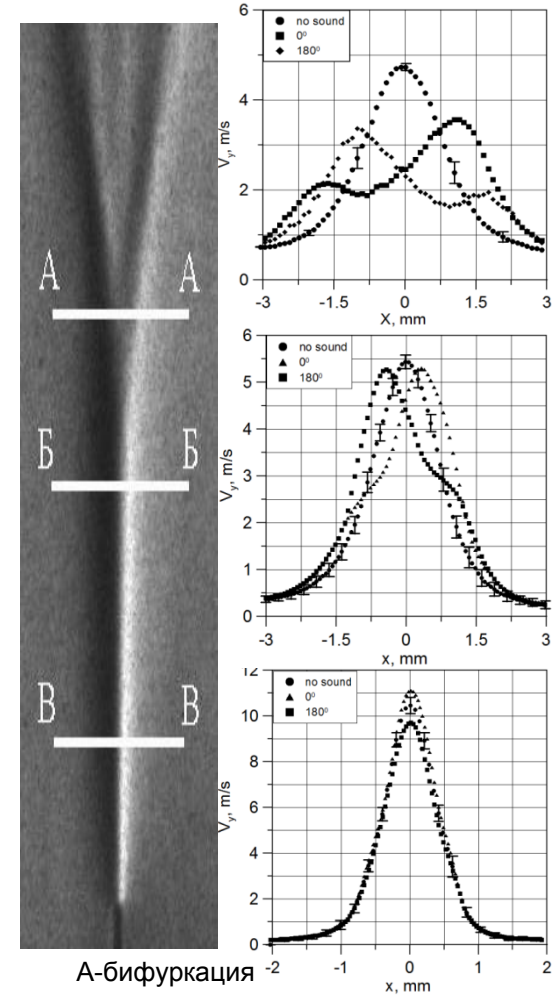
Относительная массовая концентрация сажи



Поперечное сечение струи: модуль скорости линии тока



Продольное сечение струи:

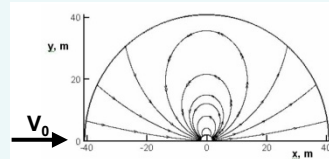


А-бифуркация
Б-струя совершает колебания как целое
В-продольные пульсации скорости

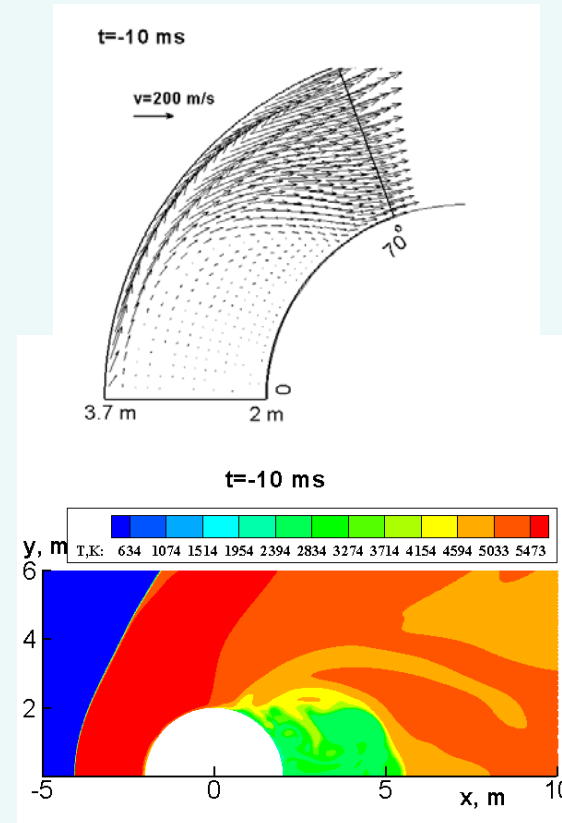
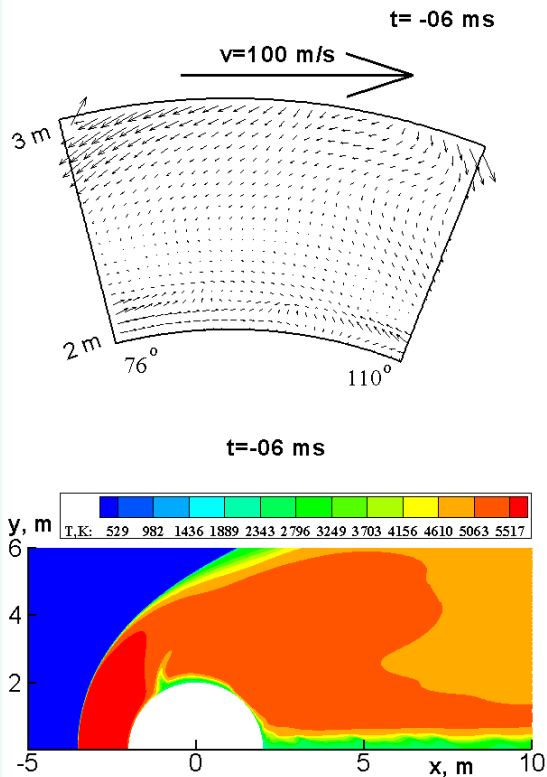
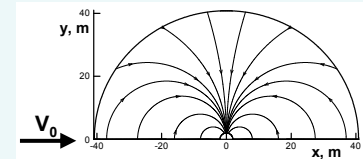


Динамика импульсного вдува холодного газа в зону отрыва при гиперзвуковом МГД обтекании тел вращения

МГД обтекание сферы: параллельная ориентация векторов магнитного момента диполя и скорости набегающего потока, зона отрыва располагается на боковой поверхности сферы



МГД обтекание цилиндра: нормальная ориентация векторов магнитного момента диполя и скорости набегающего потока, зона отрыва располагается в ударном слое перед цилиндром

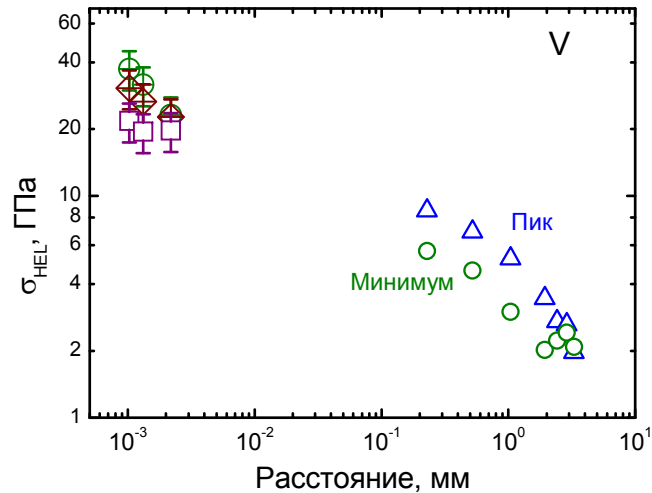


Исследована динамика импульсного вдува холодного газа в зоны отрыва, возникающие на поверхности тела при его гиперзвуковом МГД обтекании, проанализированы особенности вихреобразования, массо- и теплообмена. В двух постановках продемонстрировано заметное снижение суммарного теплового потока в тело, причем этот эффект сохраняется долгое время после завершения вдува. Обнаружено, что в результате вдува в зоне отрыва возникают медленно диссипирующие долгоживущие вихри. С целью оптимизации параметров вдува проводится параметрический анализ их влияния на локальные и интегральные характеристики обтекания.

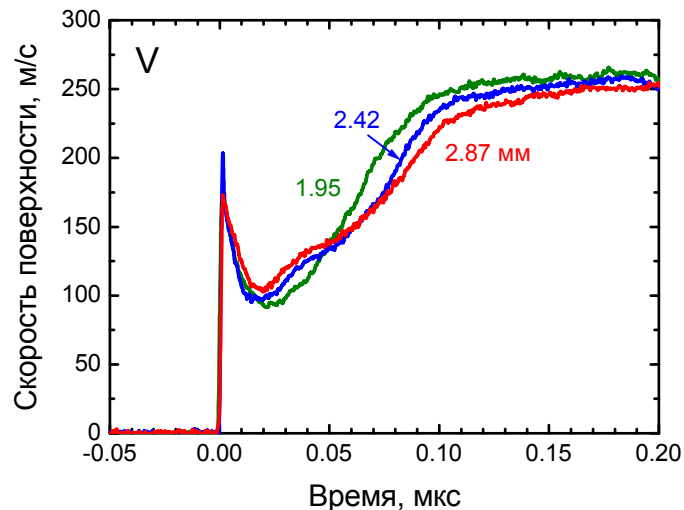
**Механика деформирования и
разрушения материалов, сред, изделий,
конструкций, сооружений и
триботехнических систем при
механических нагрузках, воздействии
физических полей и химически
активных сред**



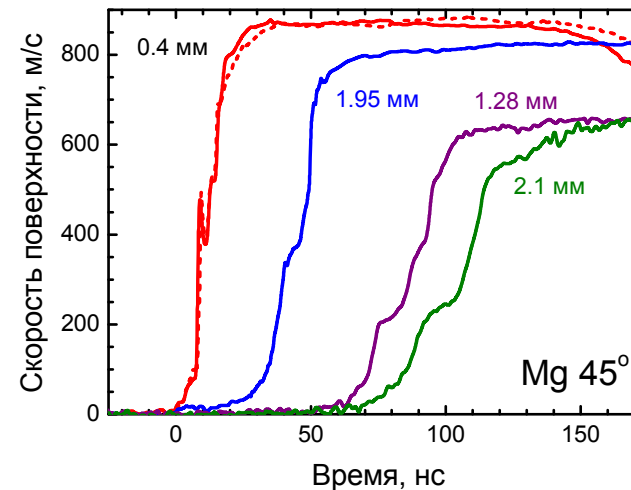
Экспериментальное исследование температурно-скоростных зависимостей напряжений течения и разрушения металлов и сплавов



Измерена эволюция ударных волн в металлах со структурой ОЦК (Ta, V, Fe) и ГПУ (монокристаллы Mg) при нормальных и повышенных температурах. Получены зависимости скорости пластической деформации от напряжения в области перехода от термоактивационных механизмов скольжения к надбарьерным механизмам, контролируемым фононным трением. Обнаружен немонотонный характер эволюции упругопластических волн ударного сжатия в ванадии, что рассматривается как проявление вклада действующего напряжения в скорость размножения дислокаций. Обнаружено расщепление пластической ударной волны в монокристаллах магния, связанное с активацией дополнительных систем пластического сдвига.



Заиухание упругого предвестника и аномалия эволюция волны ударного сжатия в ванадии.



Расщепление пластической ударной волны в монокристалле магния при нагружении род углом 45° к базисной плоскости

***Спасибо
за внимание.....!***

