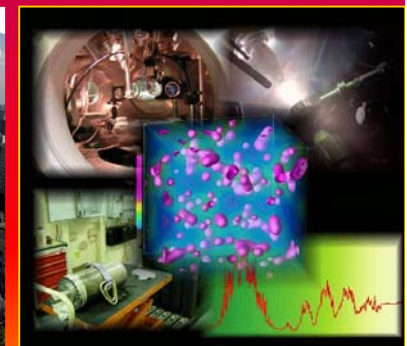
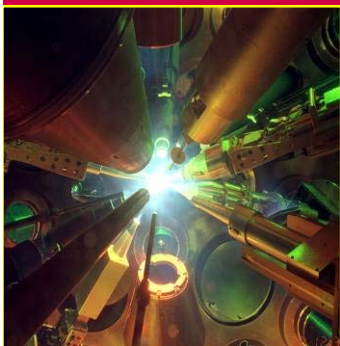




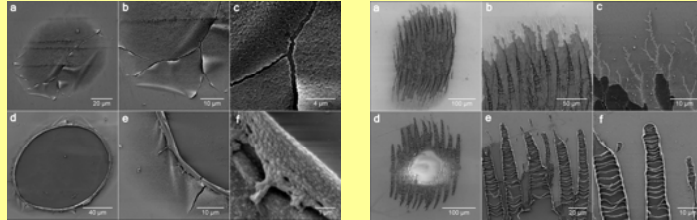
**Объединенный  
институт высоких температур РАН**  
**Основные научные результаты  
2017 года**



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

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

## Разрушение металла ТГц импульсами

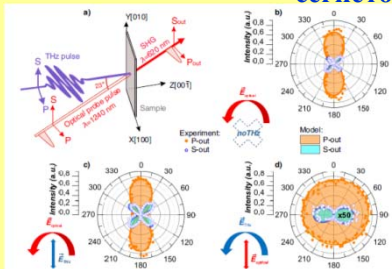


$E > 10$  MB/cm, однократно

$E < 10$  MB/cm, многократно,

M.B. Agranat, O.V. Chefonov, A.V. Ovchinnikov, P.S. Kondratenko, S.I. Ashitkov, V.E. Fortov **Phys. Rev. Lett.** 120, 085704 (2018) IF=8,5 Q1

## Резонансное ТГц возбуждение фоновых колебаний в сегнетоэлектриках

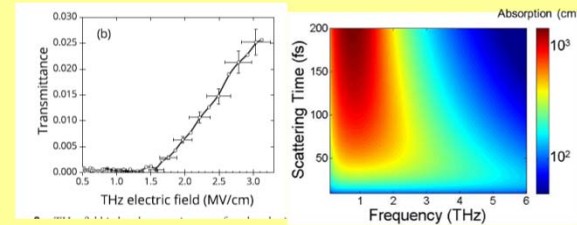


Результат – изменение параметра порядка сегнетоэлектрика при воздействии ТГц импульса.

Совместно: Radboud University Nijmegen, Netherlands, МИРЭА

K.A. Grishunin, N.A. Ilyin, N. E. Sherstyuk, E. D. Mishina, A. Kimel, V. M. Mukhortov, A.V. Ovchinnikov, O. V. Chefonov, and M. B. Agranat **Scientific Reports** 7, 687 (2017) IF 5.228 Q1

## Терагерцовые эффекты в кремнии



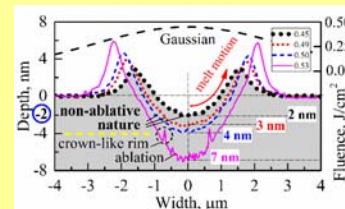
«Гигантское» просветление  $E = 3,1$  MB/cm

Совместно INRS-EMT, Varennes, Québec, Canada

O. V. Chefonov, A. V. Ovchinnikov, S. A. Romashevskiy, X. Chai, Ozaki, A. B. Savel'ev, M. B. Agranat, and V. E. Fortov

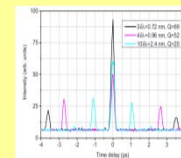
**Optics Letters** 42, 4889-4892 (2017) IF=3.416 Q1

## Управление морфологией поверхности с точностью до нескольких атомных слоев фемтосекундными лазерными импульсами



Romashevskiy S. A., Ashitkov S. I. and Agranat M. B.

**Appl. Phys. Lett.** 109, 261601 IF 3.411 Q1



Генерация реплик фемтосекундных лазерных импульсов для перестраиваемого источника THz-излучения Совместно с НИТУ МИСИС

K.B. Yushkov, V. Ya. Molchanov, A.V. Ovchinnikov and O.V. Chefonov

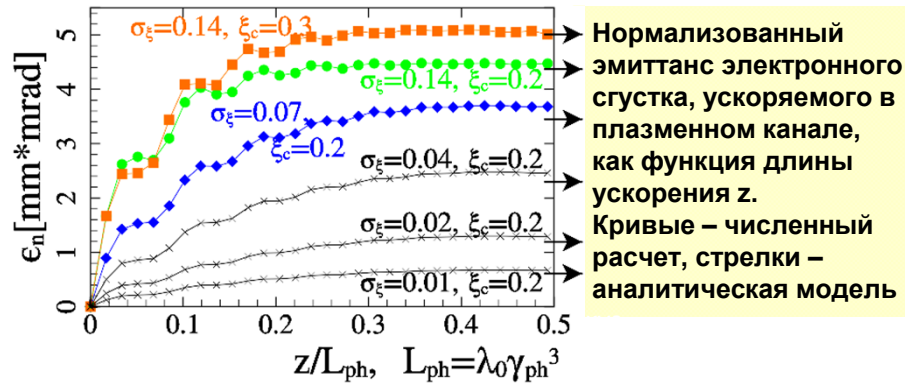
**Phys. Rev. A** 96, 043866 (2017), IF 2,8 Q1

Лаб. лазерного воздействия Руководитель Агранат М.Б

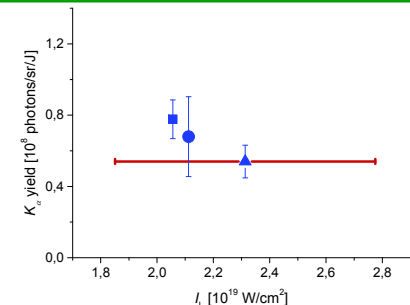
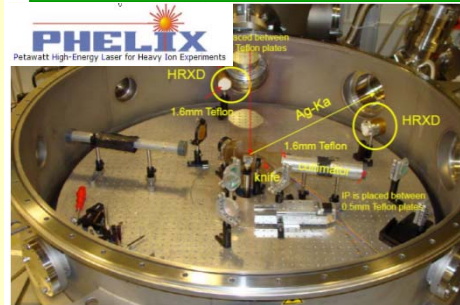


# Генерация релятивистских заряженных частиц и излучения при взаимодействии интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов с плазмой и структурированными мишенями

Построена аналитическая модель эмиттанса ускоряемых электронных сгустков конечной длины, обусловленного фазовым перемешиванием электронов, инжектированных в кильватерную лазерно-плазменную волну

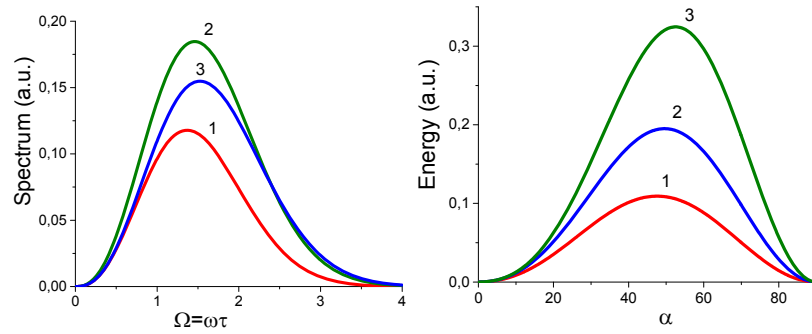


Определён коэффициент преобразования лазерной энергии в энергию горячих электронов, распространяющихся через серебряные мишени, посредством анализа тормозного и  $K_{\alpha}$  излучений при воздействии лазерного импульса интенсивностью  $2 \times 10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup> на лазерной установке PHELIX



Результаты моделирования измерений  $K_{\alpha}$  излучения из серебряной фольги толщиной 10 мкм

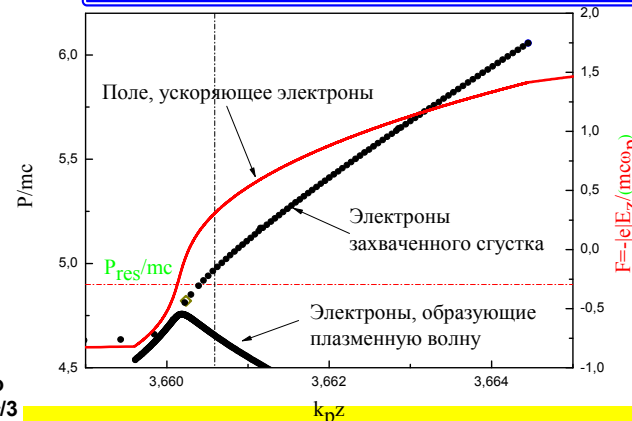
Возбуждение поверхностных волн в ТГц диапазоне частот током увлечения в проводящей среде при воздействии фемтосекундного лазерного импульса



Спектр поверхностных волн для различных углов падения лазерного импульса  $\alpha$ : (1)  $\pi/6$ , (2)  $\pi/4$ , (3)  $\pi/3$

Спектр поверхностных волн для различных углов падения лазерного импульса  $\alpha$ : (1)  $\alpha = \pi/6$ , (2)  $\alpha = \pi/4$ , (3)  $\alpha = \pi/3$

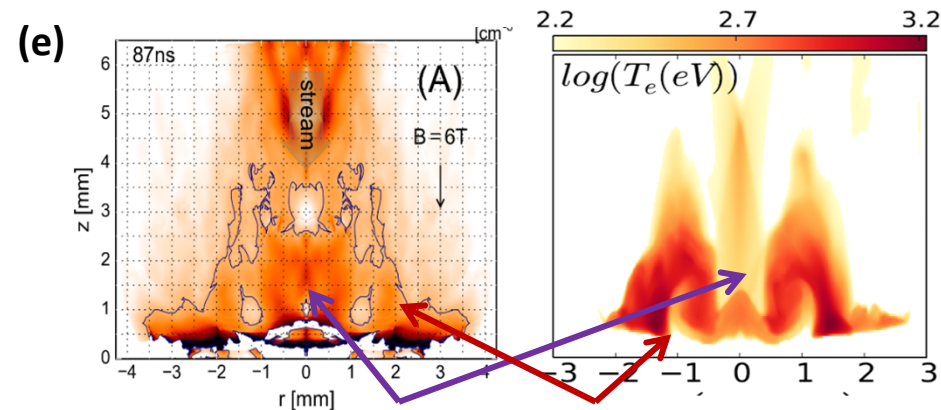
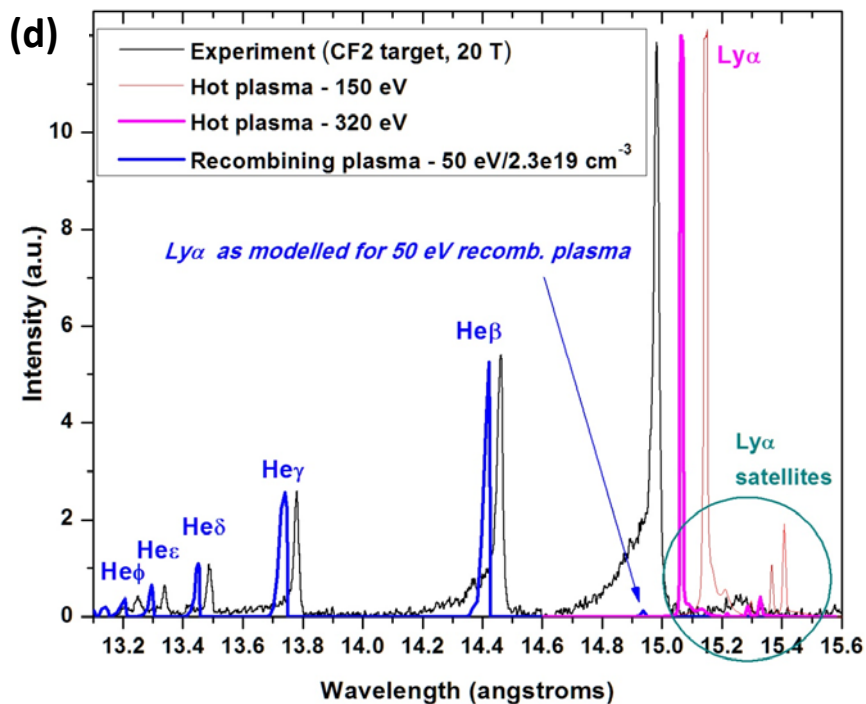
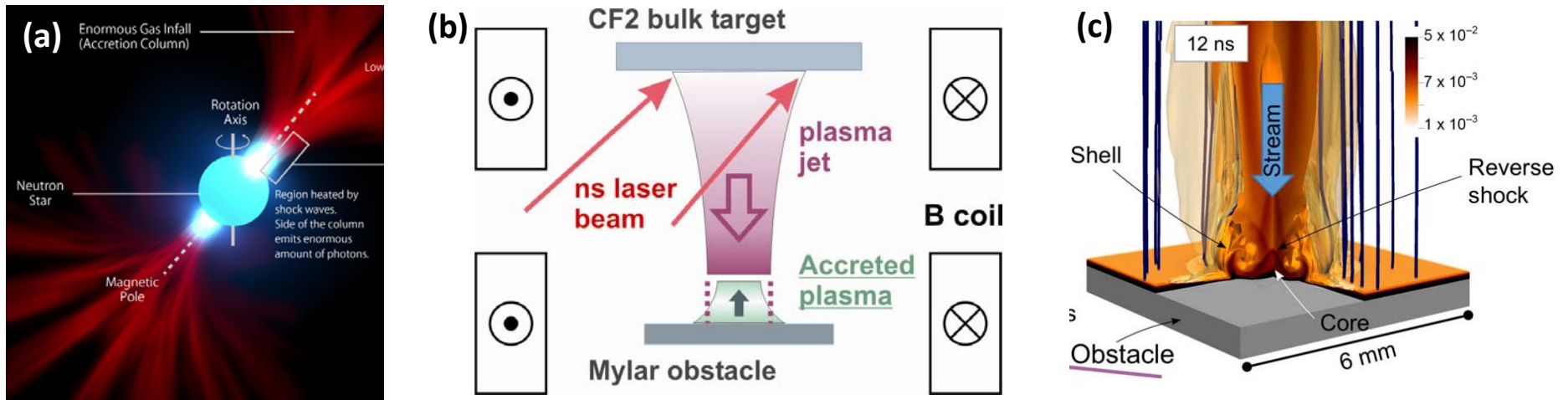
Аналитически изучен процесс формирования аттосекундного сгустка электронов, захватываемых в кильватерную волну, генерируемую лазерным импульсом ультрарелятивистской интенсивности



Электроны захваченного сгустка на фазовой плоскости  $(z, P)$  в момент их отрыва от фоновых электронов, образующих кильватерную плазменную волну



# Воспроизведение и изучение в лабораторных условиях процесса формирования аккреционных колонн вблизи магнитных полюсов молодых звезд



**Dense warm core:**  
 $T_e^{core} \sim 50 \text{ eV}$ ,  
 $N_e^{core} = 2.3e19 \text{ cm}^{-3}$

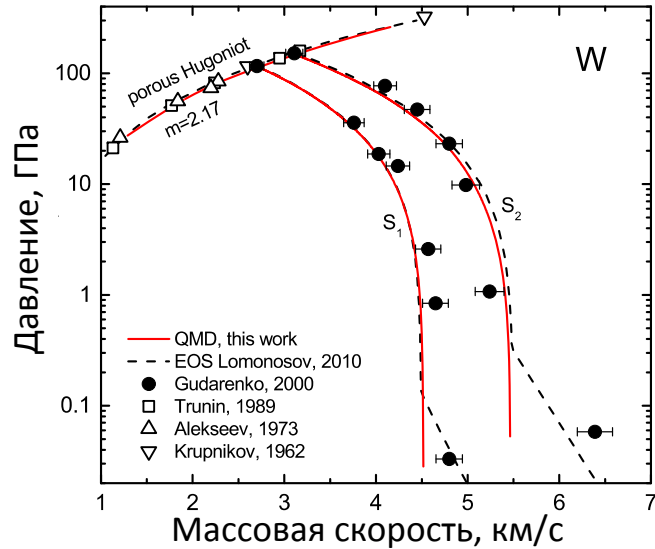
**Hot shell ( @lab condition):**  
 $T_e^{shell} \sim (250-400) \text{ eV}$   
 $N_e^{shell} \sim (4-6)e18 \text{ cm}^{-3}$

**Core – shell structure formation revealed experimentally**

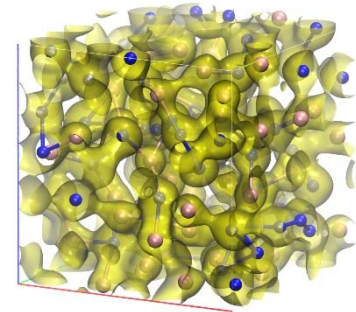
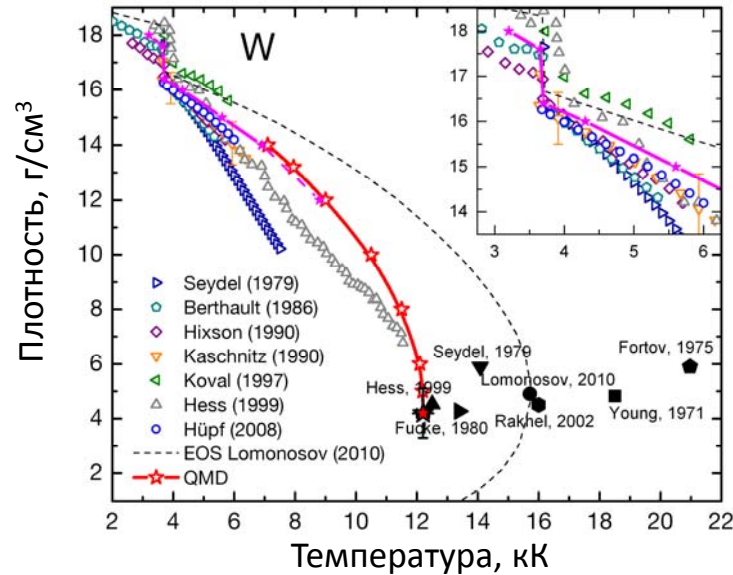


# ПЕРВОПРИНЦИПНАЯ ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛЬФРАМА

Изоэнтропы разгрузки вольфрама

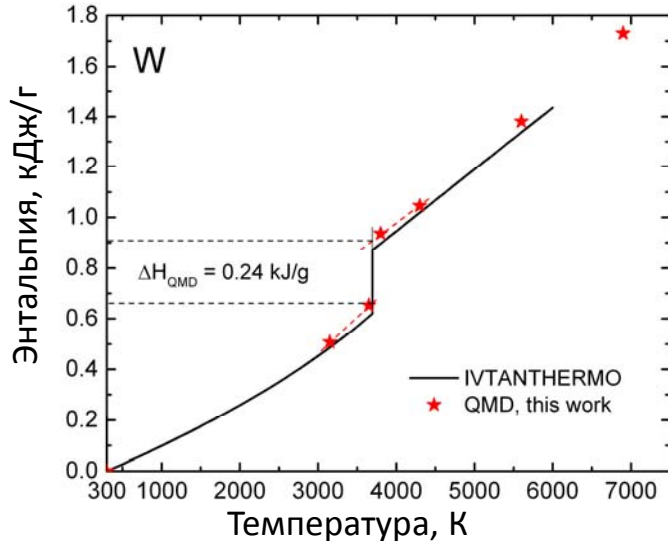


Фазовая диаграмма вольфрама



- Квантовая молекулярная динамика
- Расчет изотерм в околукритической области параметров
- Оценка критических параметров с учетом статистической погрешности расчета
- Исследование зависимости от параметров расчета

Энтальпия плавления вольфрама



Оценка критических параметров вольфрама:

$$T_c = 12.2 \quad 0.2 \text{ кК}$$

$$\rho_c = 4.2 \quad 0.9 \text{ г/см}^3$$

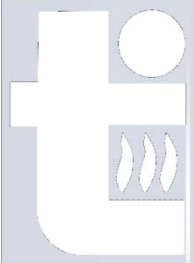
$$P_c = 6.0 \quad 0.9 \text{ кбар}$$

$$Z_c = 0.26 \quad 0.07$$

Minakov D.V., Paramonov M.A., Levashov P.R.  
Phys. Rev. B **97**, 024205 (2018)

НИЦ-1, лаб. 1.2.2.4

Минаков Д.В.  
Парамонов М.А.  
**Левашов Павел**  
Ремирович



# Реализация принципа Паули с помощью псевдопотенциала в фазовом пространстве и решение пятидесятилетней проблемы «знаков» в квантовом методе Монте - Карло

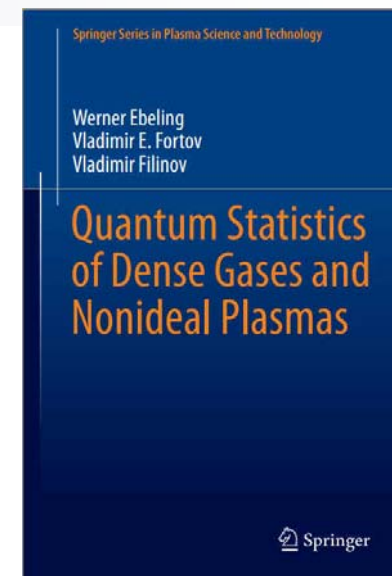
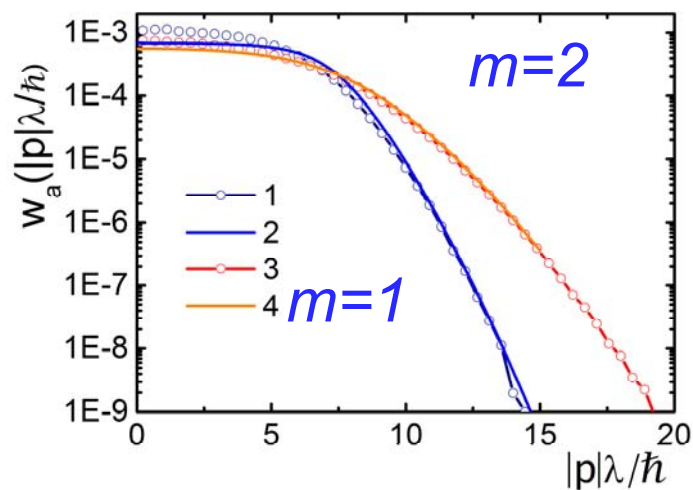
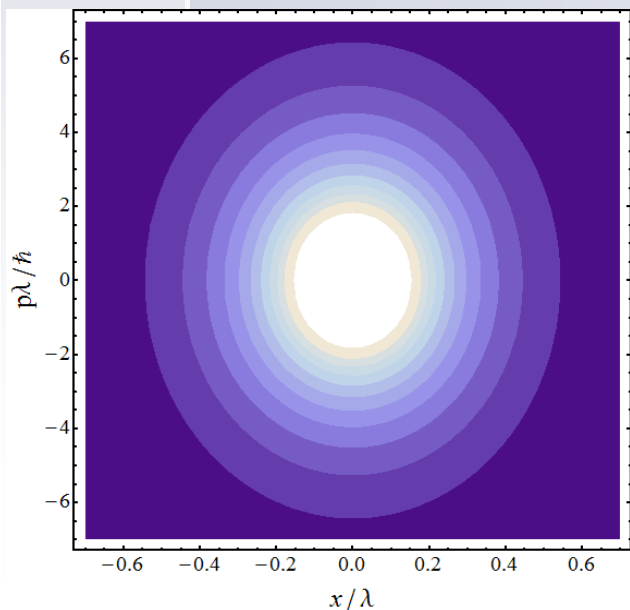
Получено представление функции Вигнера в виде интеграла по траекториям

$$W(p, q) = Z^{-1} \int d^{3N} \xi \exp \left\{ \frac{i}{\hbar} \langle p | \xi \rangle \right\} \sum_P (-1)^P \exp \left\{ - \frac{\pi}{\lambda^2} |Pq - q|^2 \right\} \\ \times \int_{q=q(0)}^{Pq(\beta)} D^{3N} q(\tau) \exp \left( - \int_0^1 d\tau \left[ \frac{\pi}{\lambda^2} \sum_{a=1}^N \dot{q}_a^2(\tau) \right] \right) \times \exp \left\{ - \frac{\pi}{2\lambda^2} \langle \xi | P + E | \xi \rangle \right\}$$

Запрет Паули и отталкивательный псевдопотенциал в фазовом пространстве для фермионов

Распределение Ферми для электронов ( $m=1$ ) и дырок ( $m=2$ )

В 2017 году вышла из печати в издательстве Springer монография В.Эбелинга, В. Фортова и В. Филинова



# Определение характеристик магнитооптической ловушки по спектральной ширине линии когерентного двухфотонного резонанса ультрахолодных атомов лития 7.

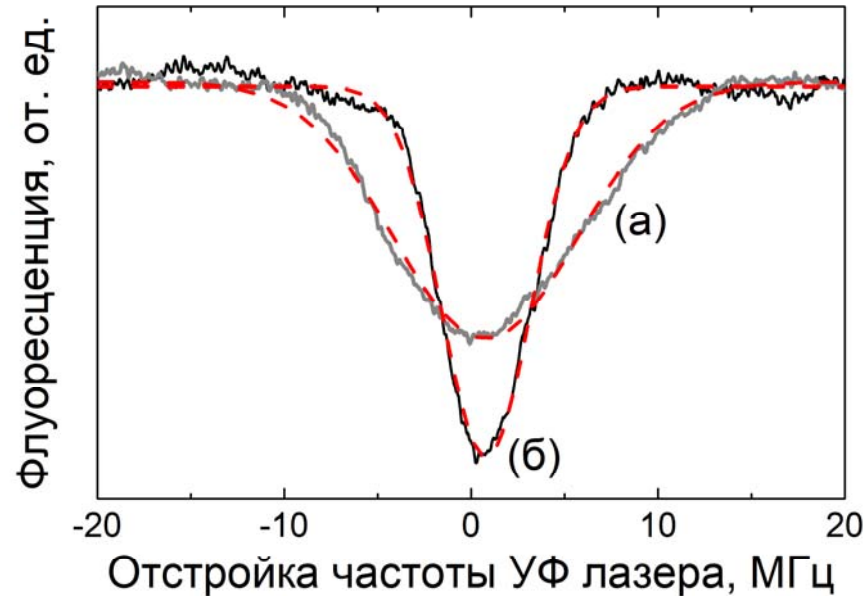
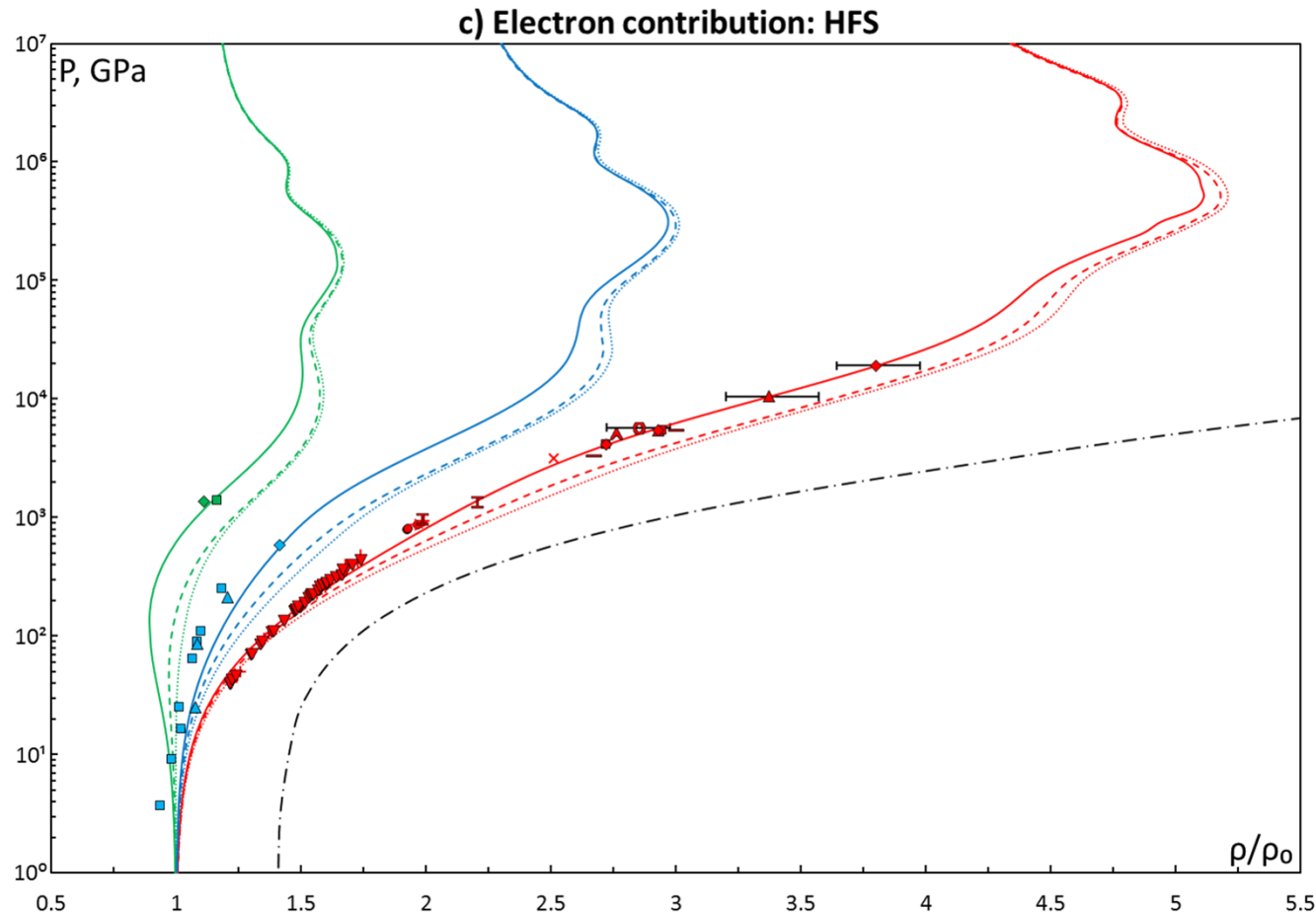


Рисунок: Двухфотонные резонансы падения флуоресценции в 5S-состояние для случая сонаправленных (а) и встречных (б) возбуждающих пучков. Сплошная линия – экспериментальная кривая, пунктирная кривая – аппроксимация функцией Гаусса с FWHM 11,8 МГц (а) и 5,7 МГц (б).

*Лаборатория 1.2.3.3. НИЦ-1  
Зав. лаб. Зеленер Борис Борисович*



# Расчет уравнения состояния железа по квантостатистической модели Хартри–Фока–Слэтера

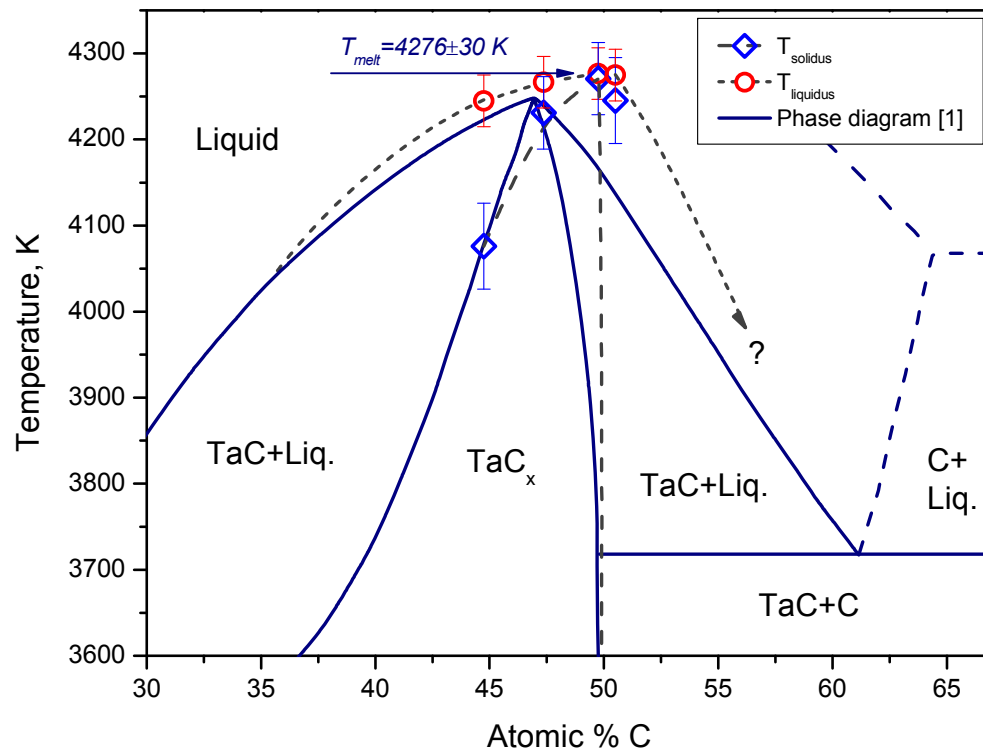


Расчётные ударные адиабаты железа по модели ХФС для начальных плотностей образцов  $\rho_{00} = 7.85$  (красные линии),  $4.31$  (голубые линии) и  $2.27$  (зеленые линии) г/см<sup>3</sup>. Ионная часть учтена по моделям идеального газа (штриховые линии), однокомпонентной плазмы (пунктир) и заряженных твердых сред (сплошные линии). Также показана изотерма  $T = 0$  (черная штрихпунктирная линия). Значками показаны экспериментальные данные.

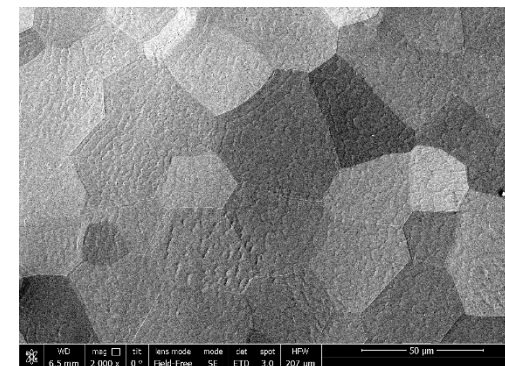
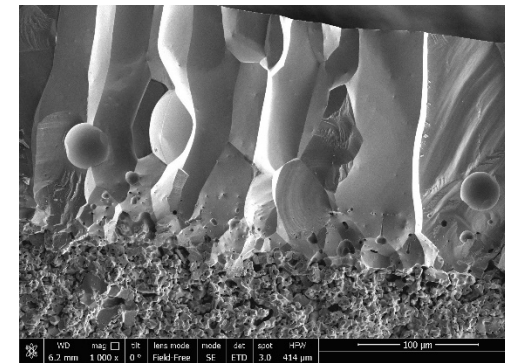
*Kadatskiy M.A., Khishchenko K.V. 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 774 012005*

**Впервые** выполнено комплексное исследование фазовых диаграмм наиболее тугоплавких нестехиометрических карбидов -  $TaC_x$  и  $HfC_x$  в области их плавления: определены температуры солидуса и ликвидуса а также температуры  $MeC-C$  эвтектик. Экспериментально подтверждено, что  **$TaC$  является наиболее тугоплавким веществом** с температурой конгруэнтного плавления  $4275\text{ K}$ , что неоднократно оспаривалось в последние годы как российскими так и зарубежными исследователями.

Фазовая диаграмма C – Ta



[1] Rudy E. Ternary phase equilibria in transition metal-boron-carbon-silicon systems. Part II. Ternary systems. Wright-Patterson Air Force Base: Air Force Materials Laboratory; 1965. (Vol. I. Ta-Hf-C system. 84 p).

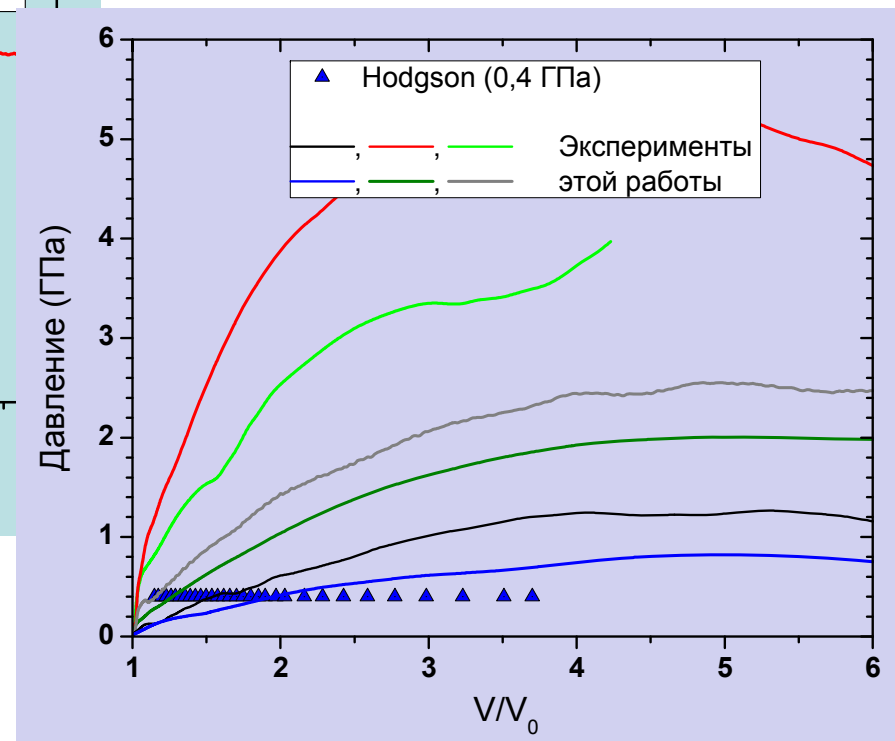
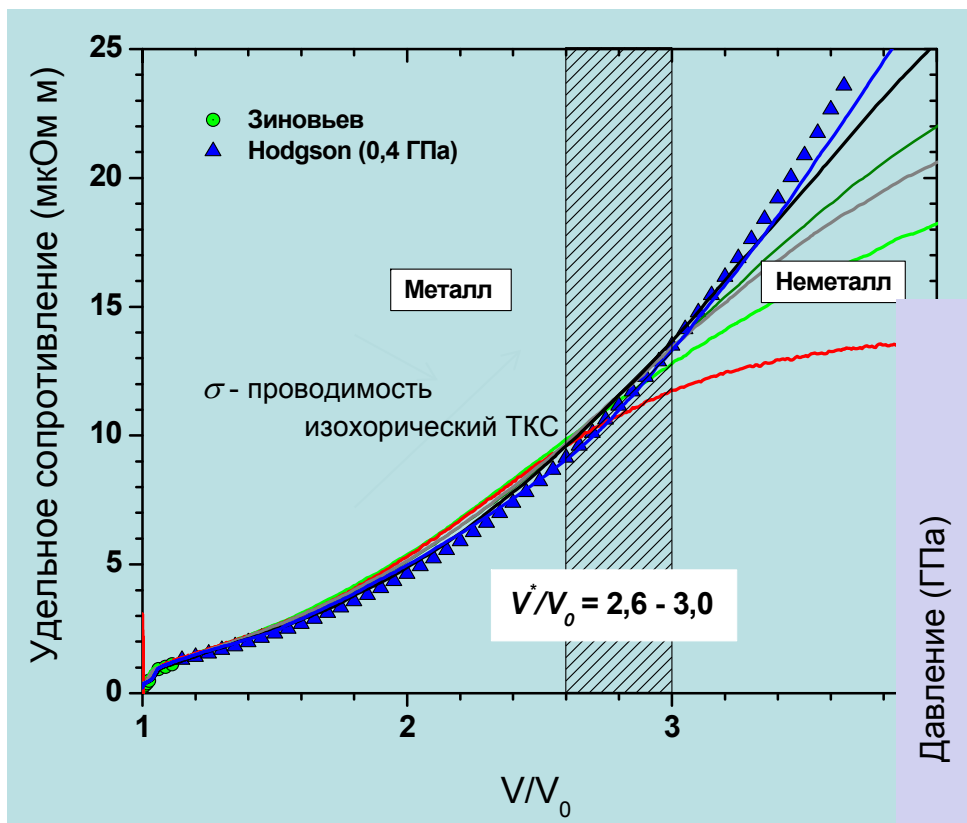


SEM images of the solidified melted zone of  $TaC_{0.95}$  sample.

(a) – cleaved solidified melt, (b) – sample surface after melting.

Руководитель: Шейндлин М.А.

Для жидкого свинца определено значение плотности, ниже которой он переходит в неметаллическое состояние



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



# Исследования термодинамики плазмы в земных и космических приложениях (2017)



Руководитель работ в ОИВТ: - д.ф.м.н. Иосилевский И.Л. (НИЦ-1)

**Astronomy  
&  
Astrophysics**

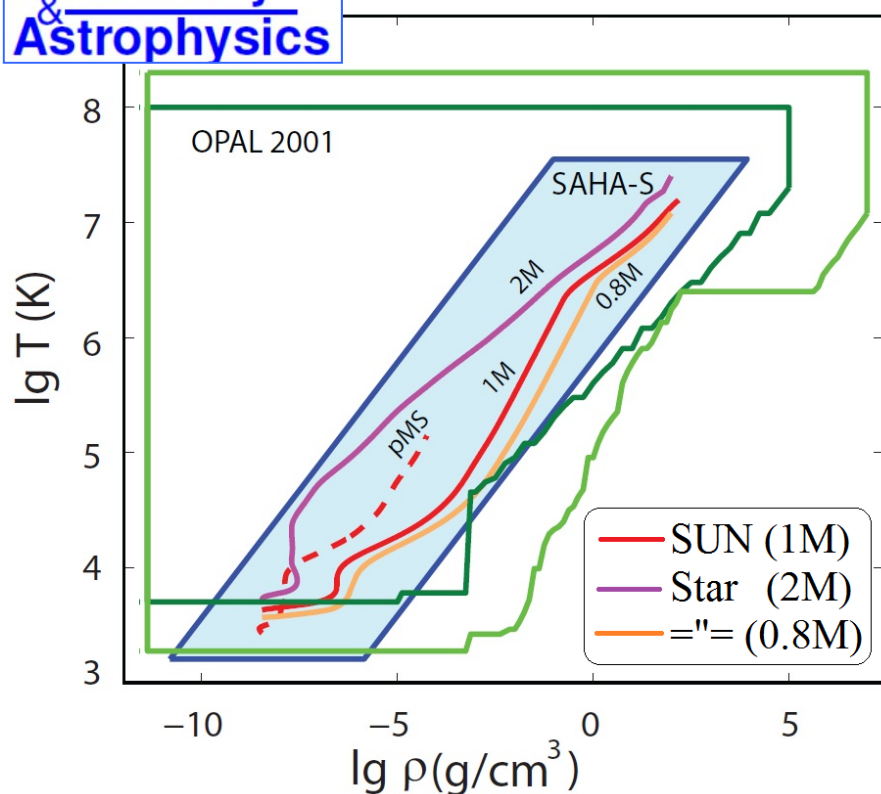
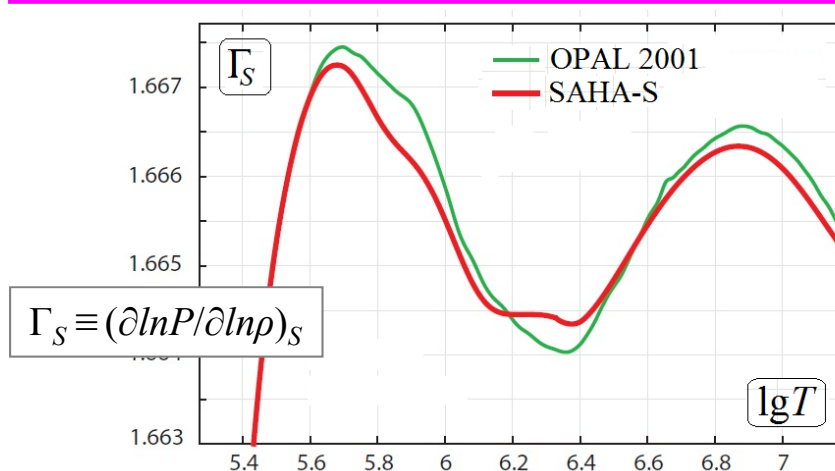


Fig. 1. Domain of applicability of the SAHA-S EOS and two versions of the OPAL EOS.

Завершен этап многолетней работы по созданию асимптотически точной модели термодинамики Солнца и кода SAHA-S, включенного в интегральный расчетный комплекс звезд главной последовательности "CESAM-2k"

(от ОИВТ РАН)

В.Е.Фортвов, А.Н.Старостин, В.К.Грязнов,  
И.Л.Иосилевский



Adiabatic exponent  $\Gamma_S$  in the interior of the Sun

**Публикации 2017**

*Baturin V.A., Däppen W., Morel P., Oreshina A.V., Thévenin F., V.K. Gryaznov V.K., Iosilevskiy I.L., Starostin A.N. and Fortov V.E., **Astronomy & Astrophysics**, 606, A129 (2017)*  
**Equation of state SAHA-S meets stellar evolution code CESAM2k: [arXiv:1708.0937](https://arxiv.org/abs/1708.0937)**



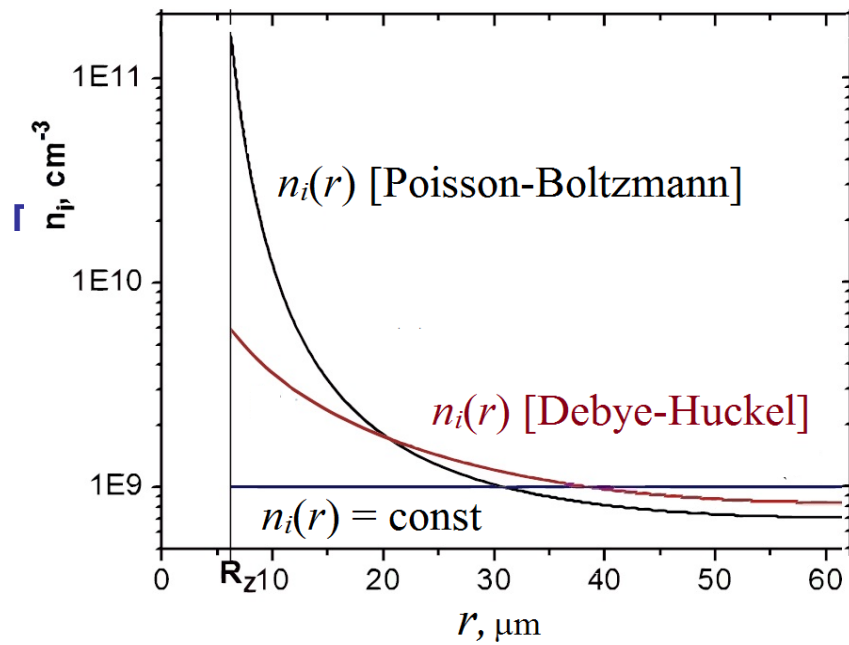


# Исследования физики фазовых превращений в неидеальных кулоновских системах (2017)

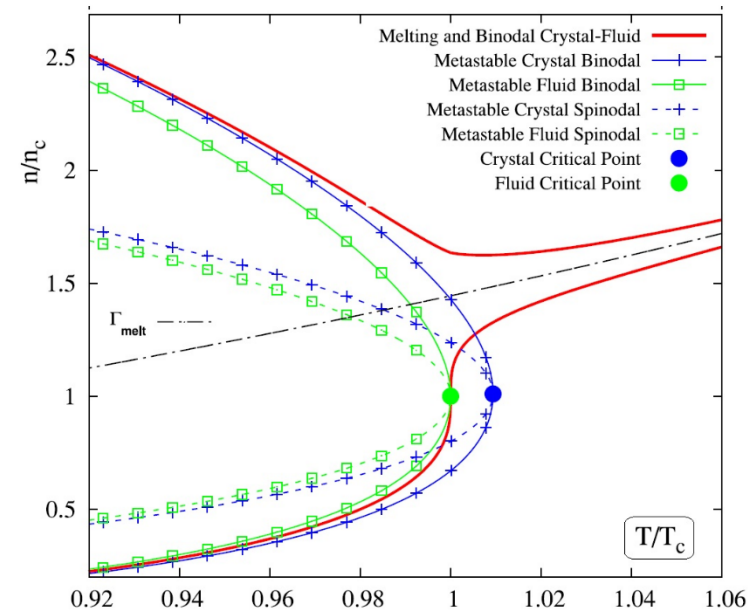


Руководитель работ: д.ф.м.н. Иосилевский И.Л. (НИЦ-1)

- (1) - Учет нелинейного экранирования макроионов ( $Z$ ) в комплексной плазме существенно меняет профиль микроионов в сравнении с линейным приближением Дебая-Хюккеля (И.А. Мартынова)
- (2) – Расчетно-теоретически выявлен аномальный тип фазовой диаграммы с единым переходом кристалл – флюид и сложной структурой стабильных и метастабильных границ фазовых превращений (А.Ю. Чигвинцев)



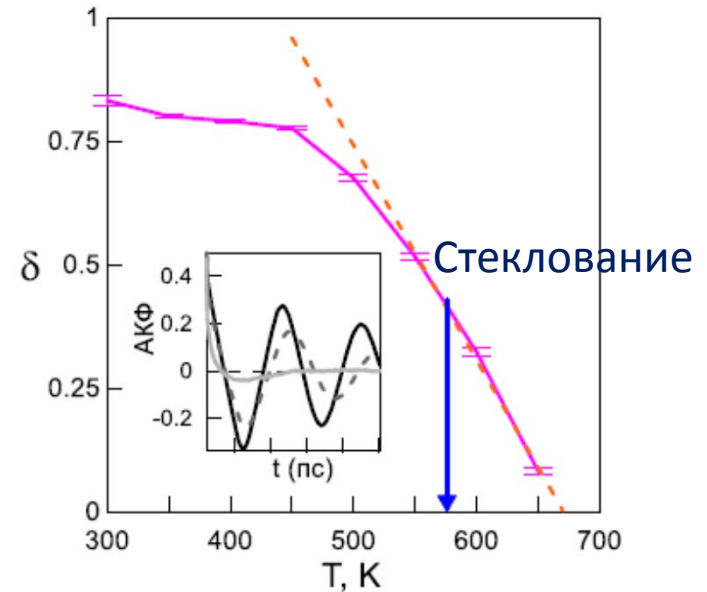
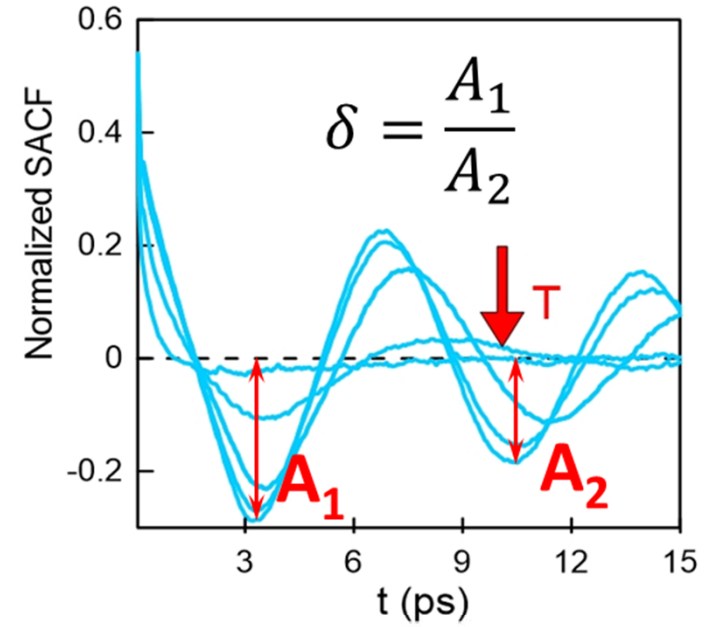
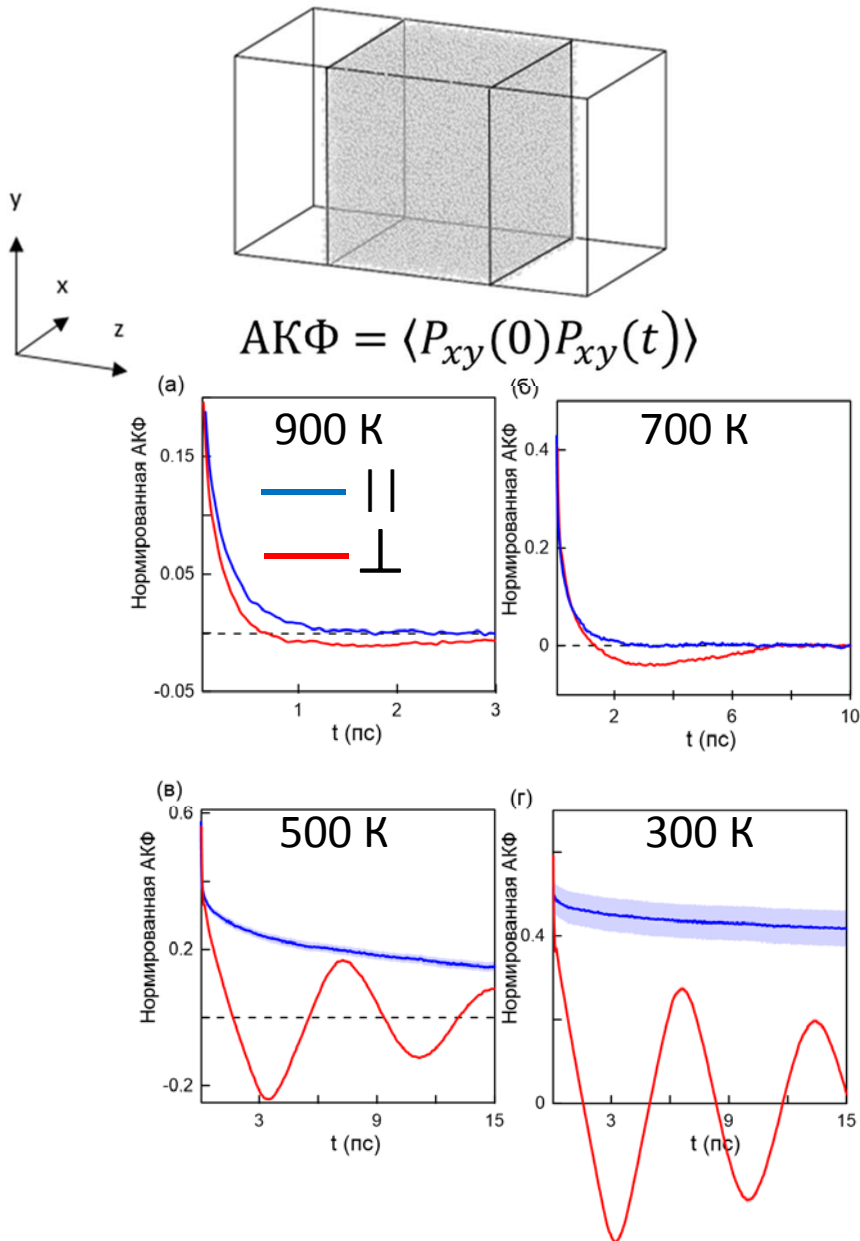
Профиль микроионов в ячейке Вигнера-Зейтца с центральным макроионом ( $Z$ ) в нелинейном приближении Пуассона-Больцмана и линейном - Дебая-Хюккеля в комплексной плазме



Аномальная фазовая диаграмма с псевдокритической точкой и единым фазовым переходом кристалл – флюид в модифицированной Кулоновской модели

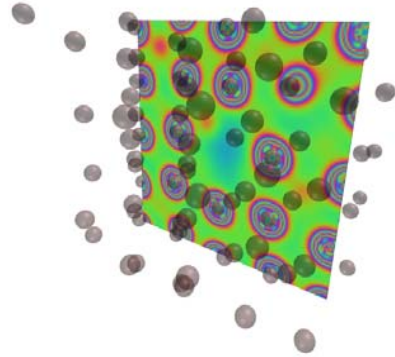
- (1) - Martynova I.A., Iosilevskiy I.L., Shagayda A.A., IEEE Transactions on Plasma Science, **46** (2017)
- (2) - Chigvintsev A.Yu., Iosilevskiy I.L., Noginova L.Yu., Eur. Phys. J. Spec. Top. **226**, 1041-9 (2017)

# Стеклование металлов

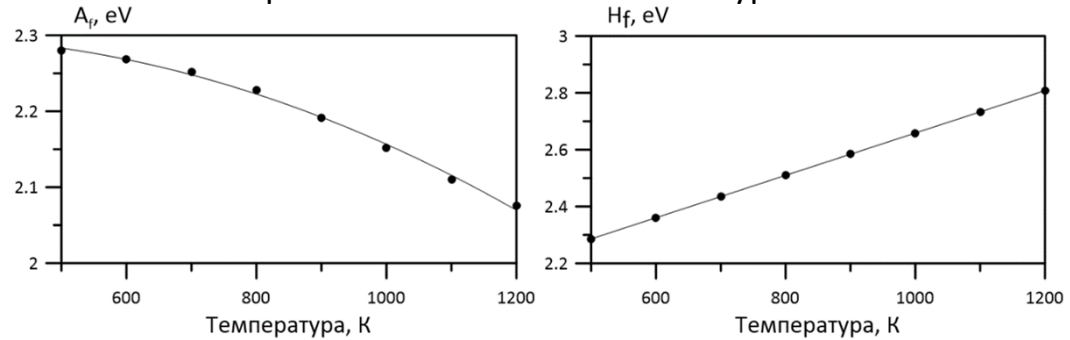


# Классические и квантовые расчеты свойств урановых топлив

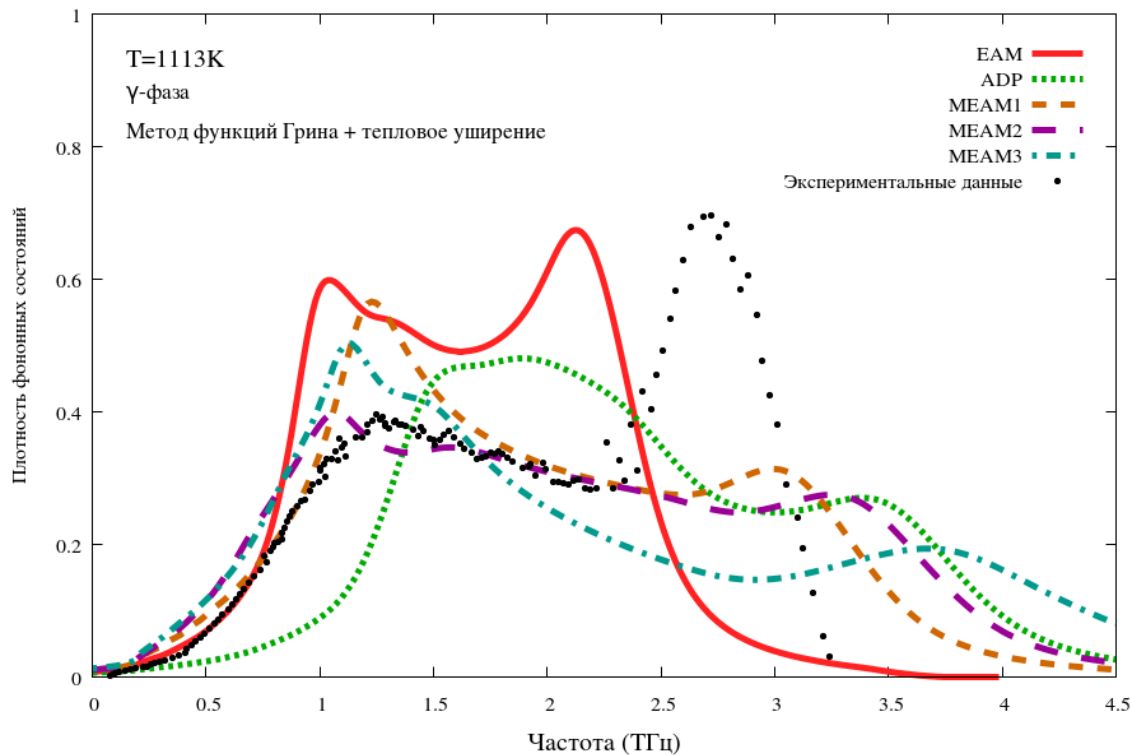
Распределение электронной плотности около вакансии



Температурные зависимости свободной энергии и энтальпии образования вакансии в гамма-уране



Фононные спектры гамма-урана

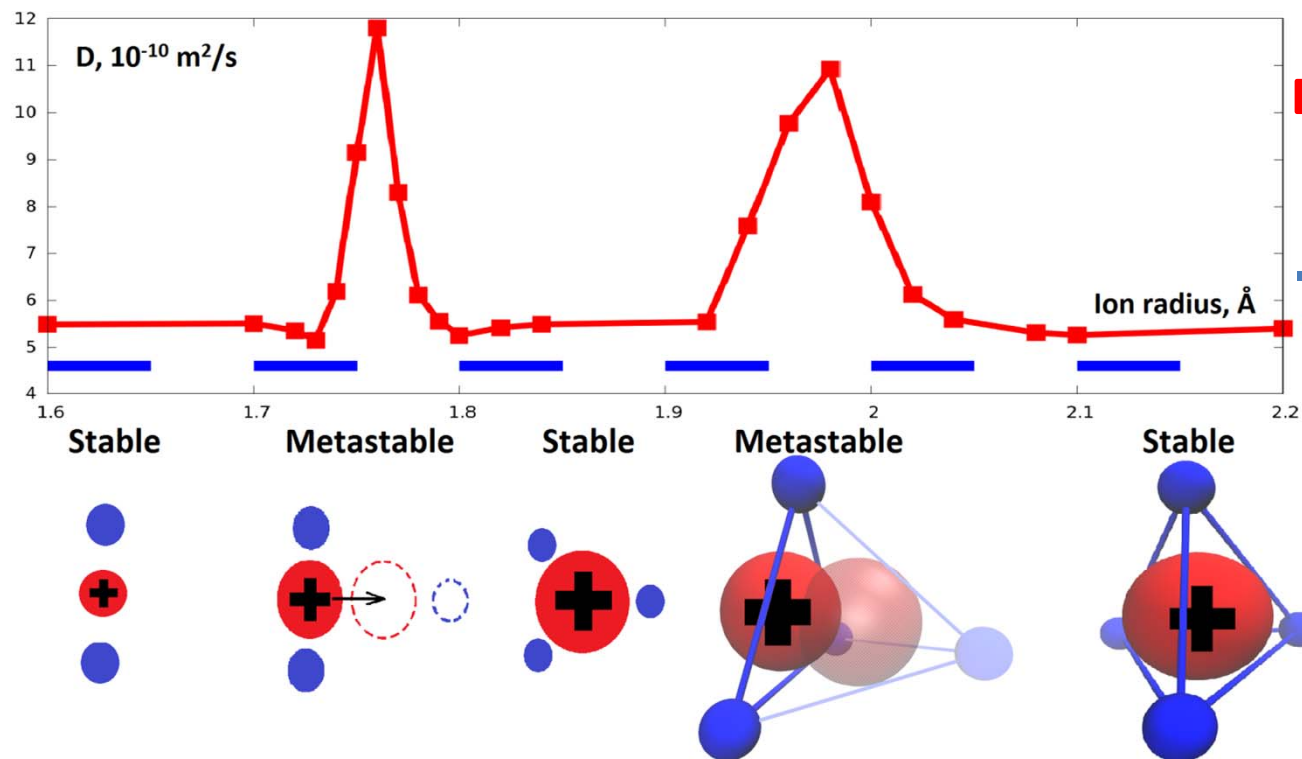


Сотрудниками лаб. 1.2.2.3 были исследованы свойства дефектов в урановых топливах. Моделирование ведется в рамках многомасштабного подхода с использованием классической и квантовой молекулярной динамики. Для квантовых расчетов был разработан и верифицирован псевдопотенциал для атома урана. Предложен метод расчета температурной зависимости коэффициента диффузии вакансий на основе определения свободных энергий формирования и миграции при конечной температуре методами термодинамического интегрирования и метадинамики. Проведена верификация классических потенциалов взаимодействия для урана путем расчета фонonных спектров.

1. Smirnov G., Stegailov V. // Lobachevskii J. Math. 2017. V. 38, P. 974.
2. Антропов А.С., Фиданян К.С., Стегайлов В.В. // ВАНТ (в печати)

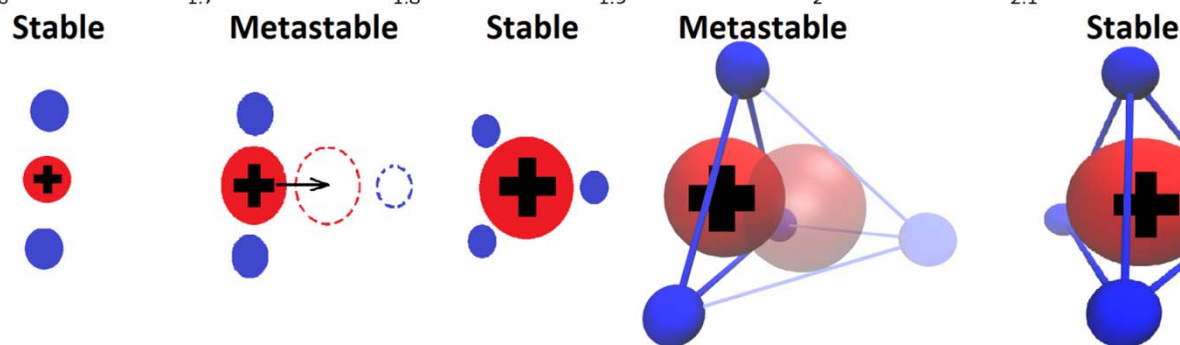
Лаб. 1.2.2.3: И.о. зав. лаб. Смирнов Григорий Сергеевич

# Аномальное увеличение коэффициента диффузии ионов

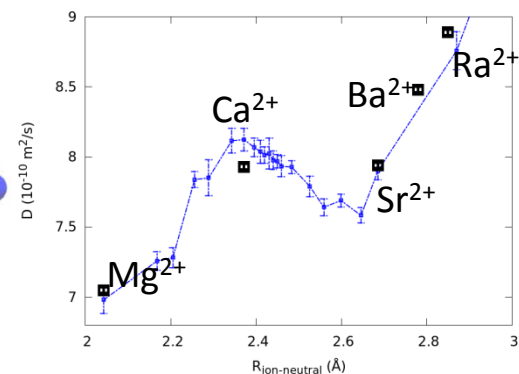


■ Молекулярно-динамический расчет

— Модель HSK (O. Hilt, F. Schmidt, Alexey\_Khrapak)



Дестабилизация оболочки иона и увеличения  $D_{\text{ion}}$  происходит при радиусе иона, соответствующем смене числа ближайших соседей.



Синие точки – расчет в воде  
Черные - эксперимент

результат опубликован:

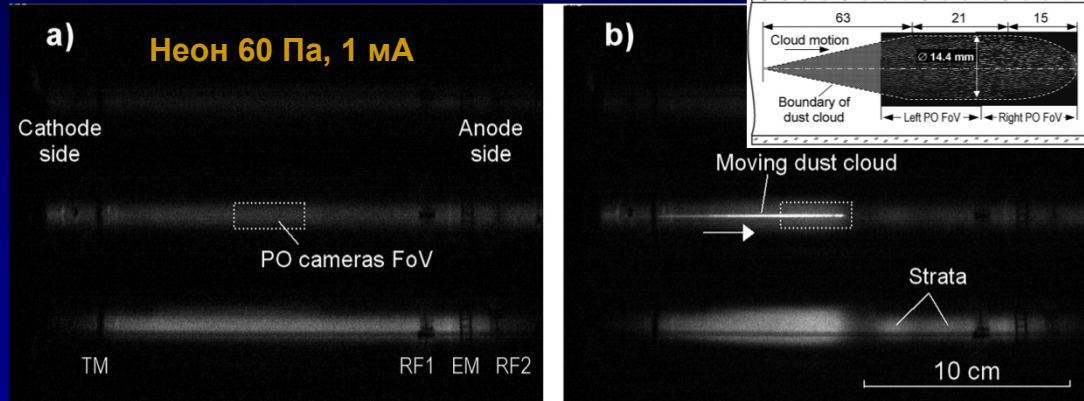
Orekhov M.A. // Phys. Chem. Chem.Phys.  
2017 DOI: 10.1039/C7CP07170A

Руководитель:  
Норман Генри Эдгарович

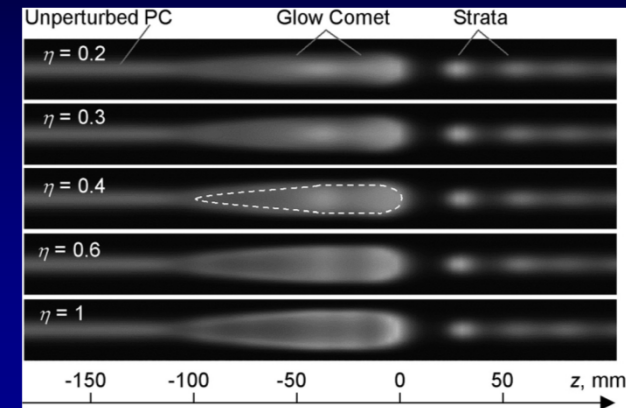


# 2D структура положительного столба с пылевым облаком – эксперимент “Плазменный кристалл-4” на МКС и нелокальная кинетическая модель

Возмущение однородного положительного столба пылевым облаком в условиях невесомости на борту МКС – эксперимент

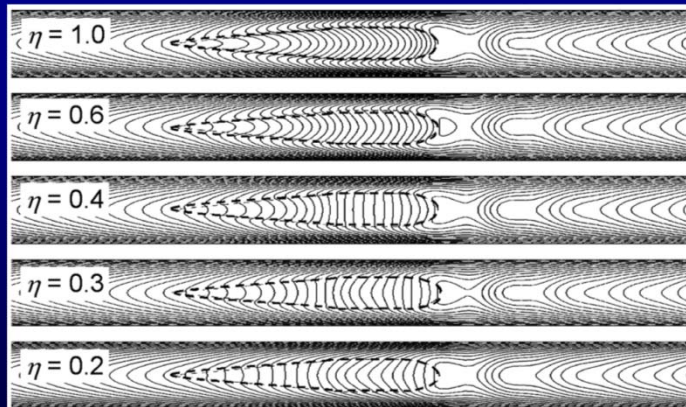


Результат моделирования свечения плазмы с облаком на длине волны 585 нм

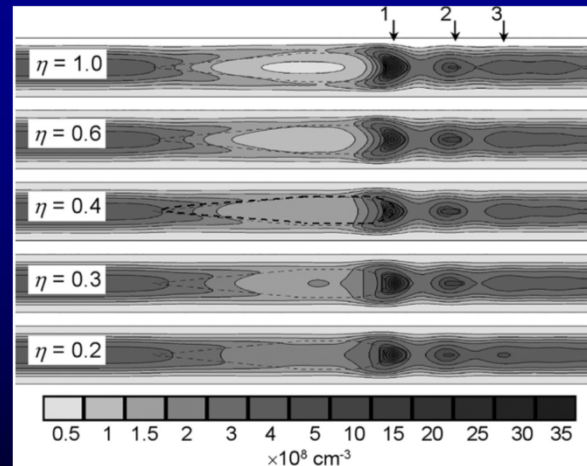


Распределение расчетных параметров плазмы для различных значений  $\eta$  - коэффициента поглощения электронов поверхностью пылевых частиц

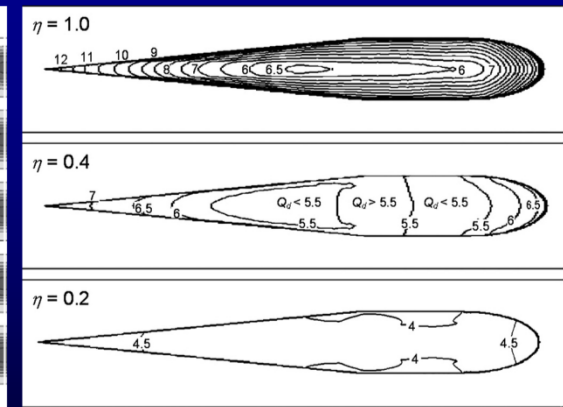
Пространственного потенциала



Концентрации электронов



Заряда пылевых частиц  $d=6.86$  мкм



A.V. Zobnin, A.D. Usachev, O.F. Petrov, V.E. Fortov, M.H. Thoma, and M.A. Fink. Physics of Plasmas 25, 033702 (2018)



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

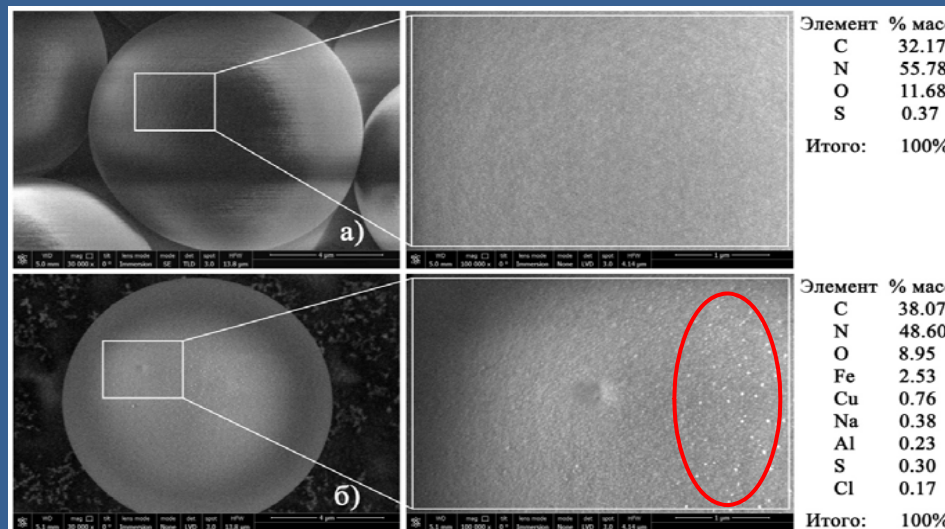
# Лазерно-индуцированный фазовый переход в монослое полимерных частиц, модифицированных в газоразрядной плазме

Схема и параметры эксперимента



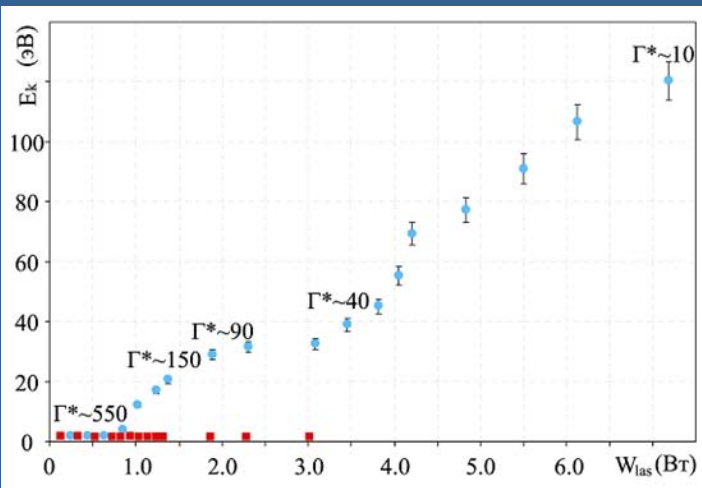
Плазмообразующий газ: Аг (аргон);  
 Давление: 5 Па (~0,0375 Торр);  
 Мощность нагрузки: 13 Вт;  
 Отраженная мощность: ~2,45 Вт;  
 Частицы: Меламинформальдегид;  
 Размер частиц (диаметр): 10,60 мкм 0,12;  
 Число частиц в структуре: ~1500;

Изображения, полученные методом РЭМ, исходных частиц (а) и частицы (б), уловленной после модификации в ВЧ-разряде, а также элементные составы их поверхностей.



$$\Gamma^* = 15(eZ)^2(1+k+k^2/2)\exp(-k)/T\tau_p, \quad k = r_p/\lambda$$

Изменение средней кинетической энергии движения  $E_k$  частиц меламинформальдегида в начальный момент времени (■) и после выдержки в плазме (●) в течение 90 минут, при различных значениях мощности лазерного излучения  $W_{las}$ .



Траектории частиц (0,5 с) в начальный момент времени и после кинетического разогрева

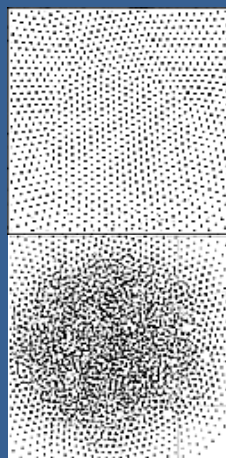
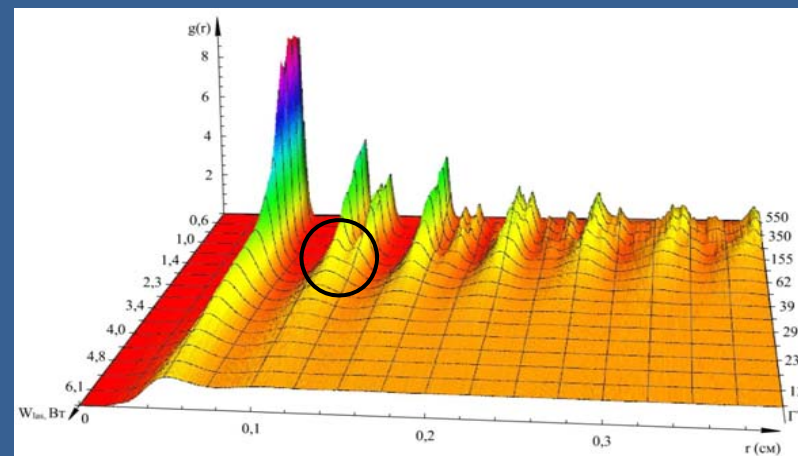
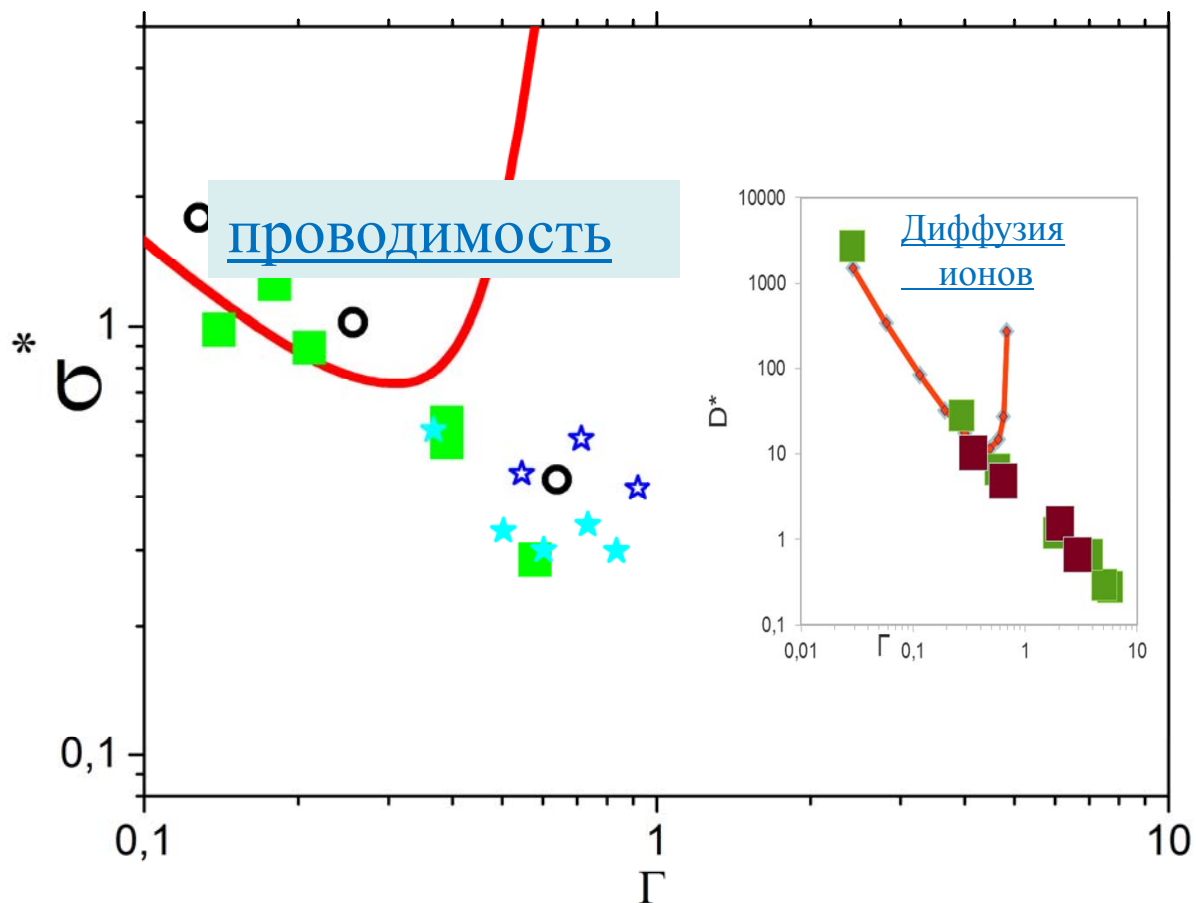


График парной корреляционной функции при кинетическом разогреве лазерным излучением монослоя пылевых частиц после выдержки в плазме в течение 90 минут.



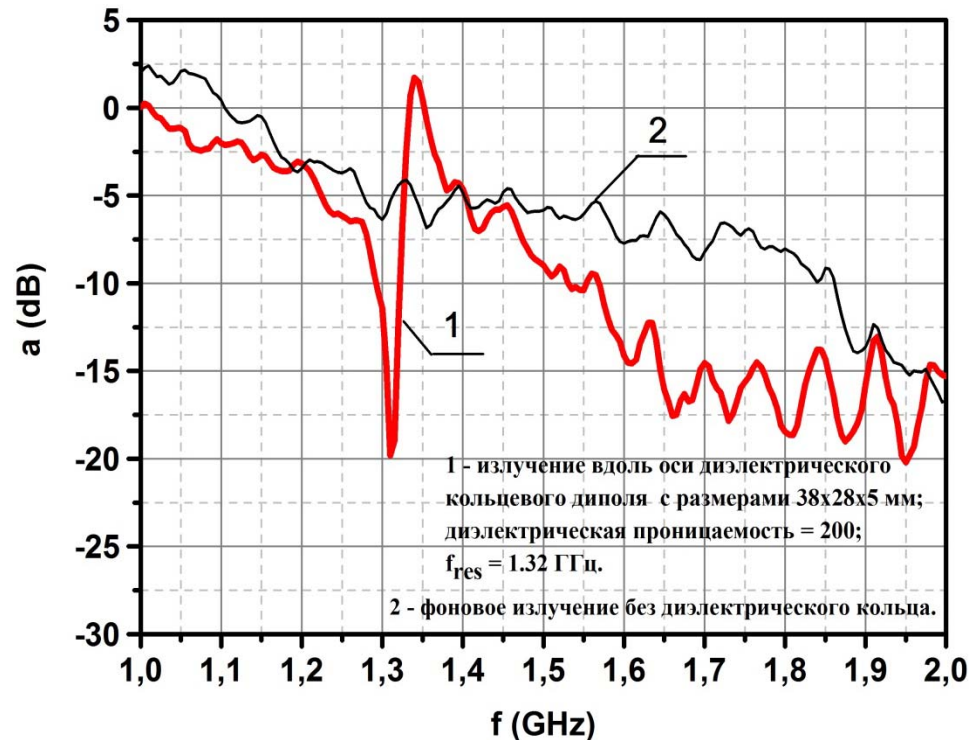
**Впервые рассчитаны коэффициенты диффузии и проводимость ультрахолодной неидеальной плазмы.**



- - Ландау-Спитцер
- - Эксперимент (PHYSICAL REVIEW X 6, 021021 (2016))
- - Расчет ММД
- - Морозов, Норман ( ЖЭТФ,127,412 (2005))
- ★ ★ - Эксперимент, плазма Хе и Ar (ЖЭТФ 44,112 (1976))

Теоретический отдел: Зеленер Борис Вигдорович, в.н.с.

# Резонансные диэлектрические магнитные диполи. Отрицательный магнитный отклик



Впервые теоретически и экспериментально исследованы резонансные диэлектрические магнитные диполи в виде тонких диэлектрических колец, возбуждаемых электромагнитной волной в ГГц диапазоне. В отличие от известных проводящих СВЧ элементов эти диполи возбуждаются токами смещения и обладают инверсией магнитного потока вблизи резонанса.

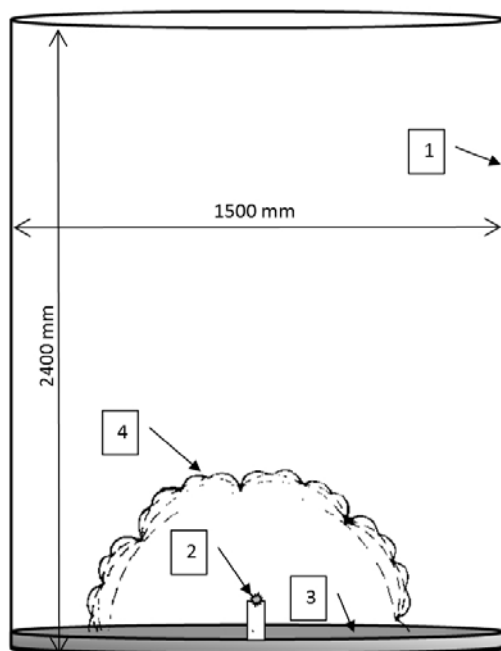
На основе этих элементов могут быть созданы новые перспективные метаматериалы с отрицательной магнитной восприимчивостью и малыми потерями в заданном диапазоне частот.

Теор. отдел      Шварцбург А.Б.  
Лаб. 1.2.1.1.    Василяк Л.М.

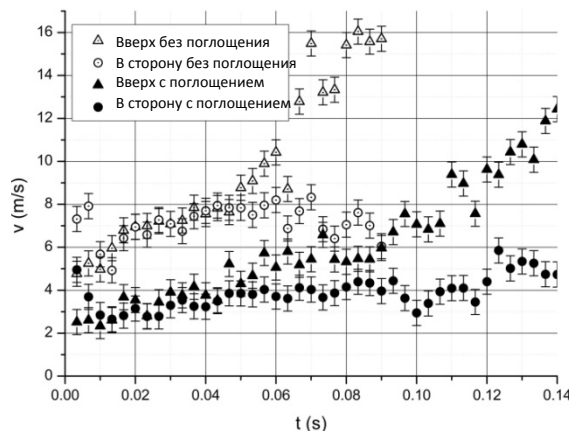


**Механика жидкости, газа и плазмы,  
многофазных и неидеальных сред,  
механика горения, детонации и взрыва.**

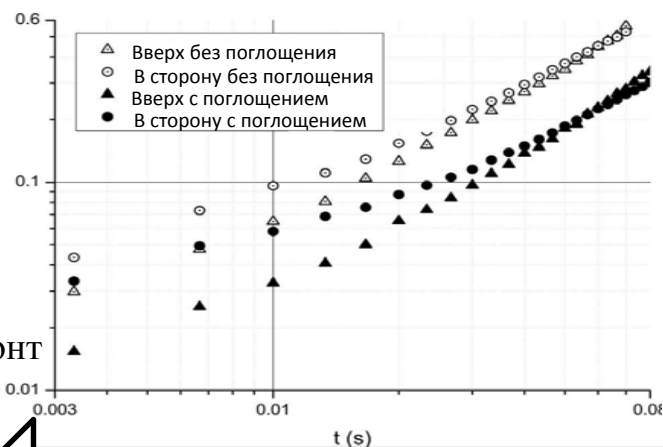
# Распространение полусферического водородного пламени над поглощающей поверхностью



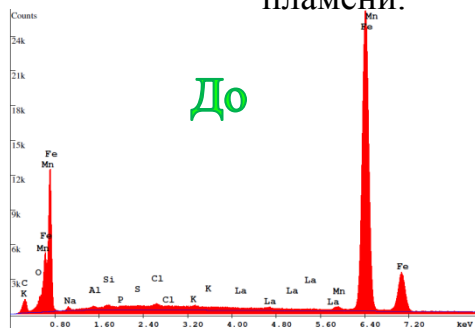
Экспериментальная сборка. 1 – прозрачная оболочка, 2 – точка воспламенения, 3 – слой стальной шерсти (алюминиевый лист), 4 – фронт пламени.



Обнаружено, что скорость полусферического распространения пламени над слоем поглощающего материала в 1.8-2.5 раза ниже, чем скорость полусферического распространения пламени над жесткой гладкой поверхностью.

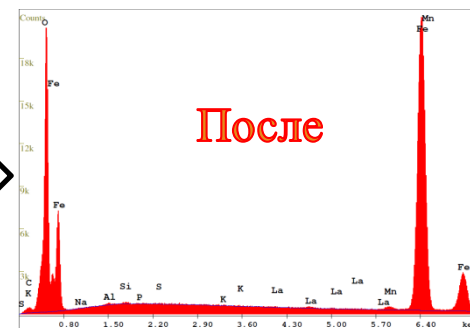


В обоих случаях пламя распространяется с ускорением, при этом, над слоем поглощающего материала скорость пламени, а, следовательно, и взрывные нагрузки, ниже.



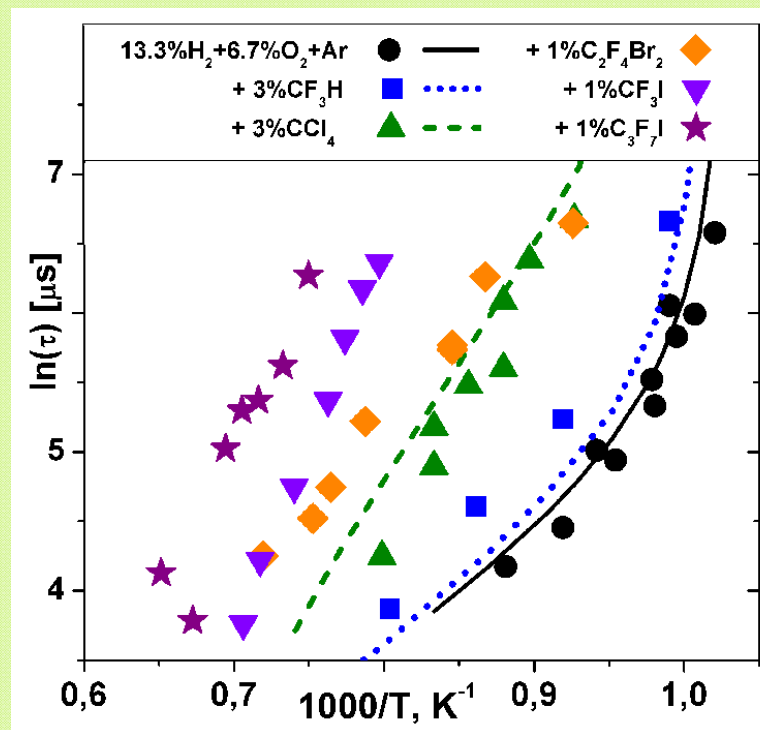
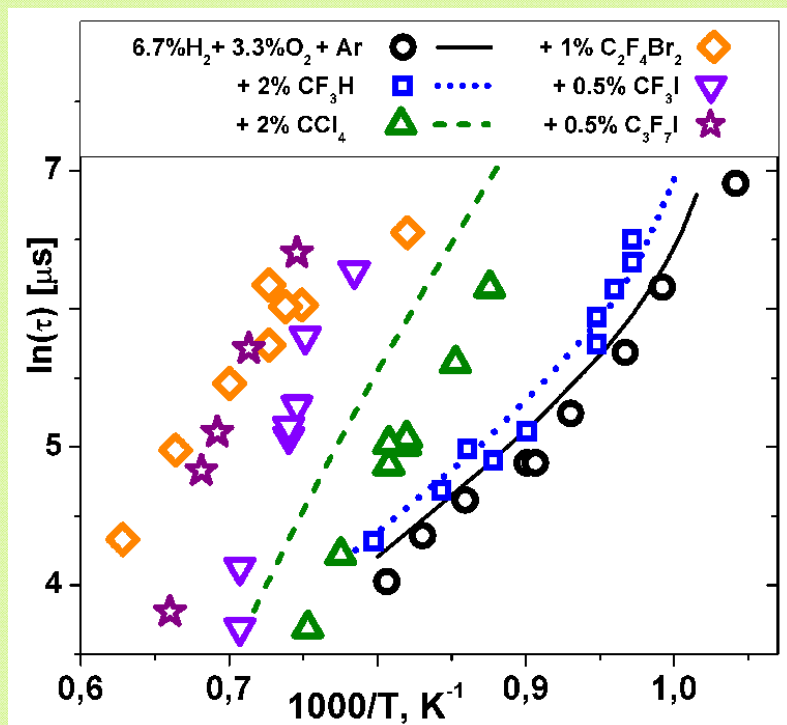
До

Исследование поглощающего слоя до и после прохождения пламени показало, что при распространении пламени поглощается тепло и кислород из зоны химической реакции, снижая общую скорость пламени.



После

## Ингибирование воспламенения водородо – кислородных смесей добавками различных галогено-углеродов



В экспериментах обнаружено существенное ингибирование воспламенения водорода небольшими добавками различных галогено-углеродов, увеличивающее задержки воспламенения на порядки величины и повышающее температуру воспламенения более чем на 300 К. При этом эффективность ингибирования увеличивается в ряду  $F \rightarrow Cl \rightarrow Br \rightarrow I$ .



## Магнитное пересоединение в магнитосферных структурах: численное моделирование и анализ механизмов

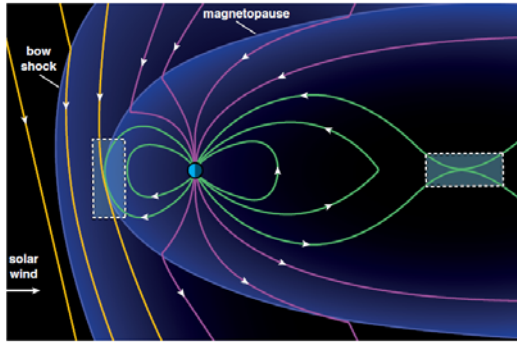
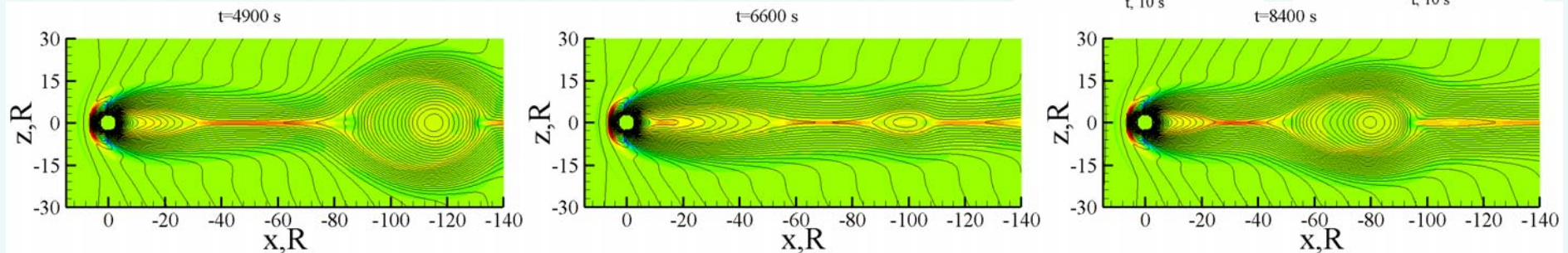
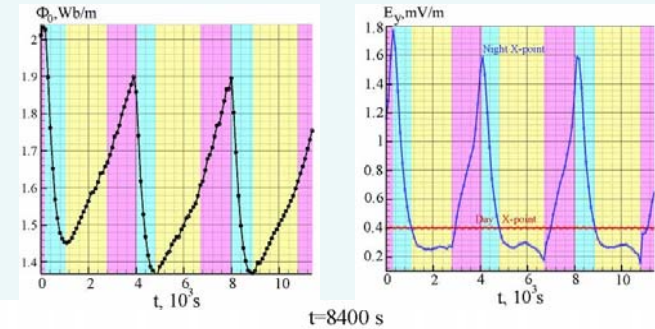


Схема обтекания магнитосферы Земли солнечным ветром (меридиональная плоскость, межпланетное магнитное поле направлено к югу). Пунктиром показаны области дневного (слева) и ночного магнитного пересоединения

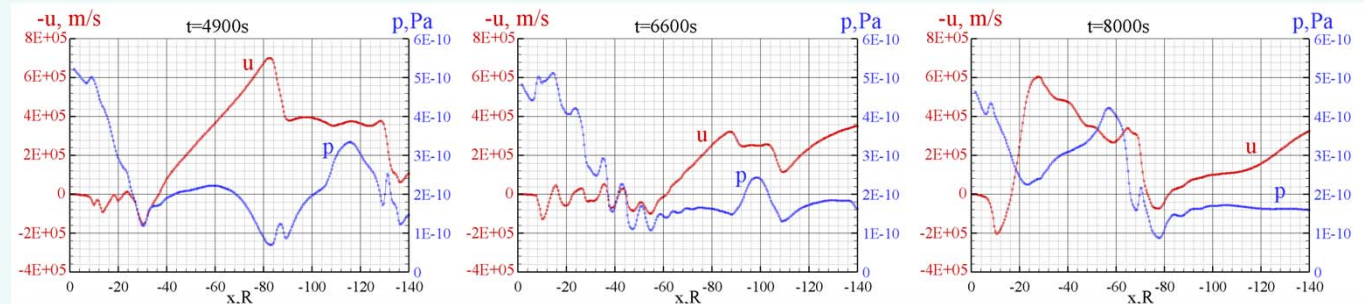
В 2017 г. продолжались расчетно-теоретические исследования «пилообразного» события - периодического пересоединения в геомагнитном хвосте магнитосферы, наблюдающегося при выполнении критерия развития тиринг-неустойчивости (число Лундквиста  $Lu = \mu \sigma v_a l > 1$ ).

Изменение во времени открытого магнитного потока ММП (слева) и скорости пересоединения в дневных и ночной X-точках (справа, красная линия – дневная X-точка, синяя линия - ночная X-точка). На обоих рисунках желтым цветом помечена фаза роста, розовым – взрывная фаза, голубым – фаза восстановления.



Магнитные силовые линии и линии уровня плотности тока (цветовая заливка) в начале фазы роста ( $t=4900$  с, минимум открытого потока ММП и равенство скоростей пересоединения в дневных и ночной X-точках), взрывной фазы ( $t=6600$  с, момент пересоединения, минимум скорости пересоединения в ночной X-точке) и фазы восстановления ( $t=8400$  с, максимумы скорости пересоединения в ночной X-точке и открытого потока ММП).

В фазе роста и взрывной фазы в ночном секторе диполя возбуждаются пульсации газодинамических параметров, распространяющиеся вниз по потоку. Эти пульсации анализируются в их взаимосвязи с электродинамическими процессами.

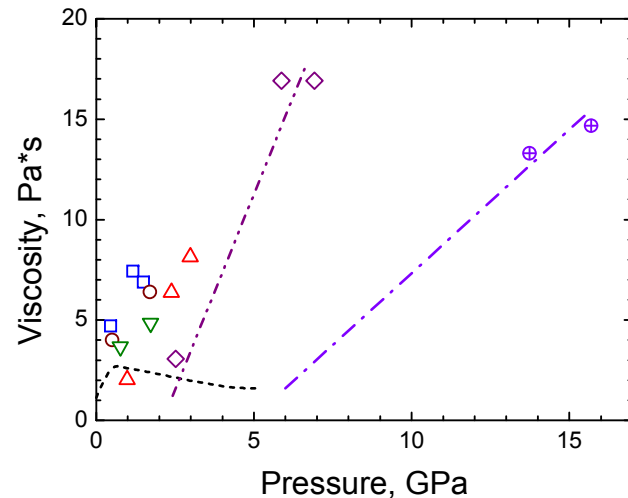
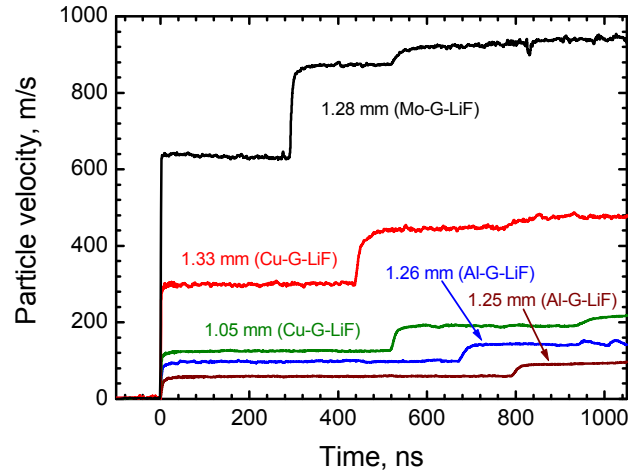




**Механика деформирования и  
разрушения материалов, сред, изделий,  
конструкций, сооружений и  
триботехнических систем при  
механических нагрузках, воздействии  
физических полей и химически  
активных сред**



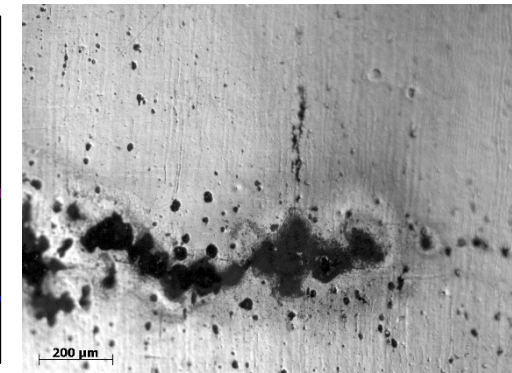
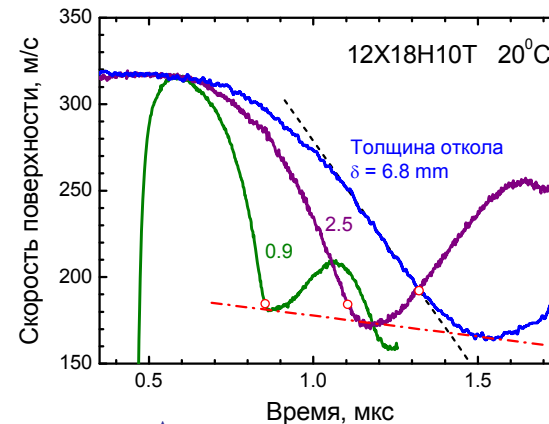
# Экспериментальное исследование прочности и вязкости твердых тел и жидкостей в ударных волнах



Измерение вязкости глицерина при ударном сжатии;  
Разработка методики для металлических расплавов.

Подтверждена возможность измерения вязкости жидкостей по времени нарастания параметров в ударной волне. Переход к ступенчатому ударному сжатию расширяет диапазон доступных давлений. Показана малая чувствительность вязкости глицерина к скорости деформации до  $10^8 \text{ c}^{-1}$ . Метод будет применен к расплавам металлов.

Для нержавеющей аустенитной стали обнаружено anomalous increase of resistance to spall damage at increased pulse duration of impact loading. Anomaly is interpreted in terms of spectrum of potential sites of destruction and contribution of deformational martensite.

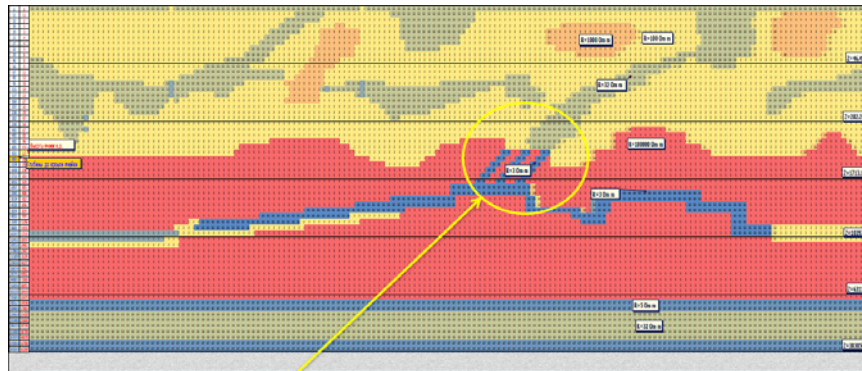


Аномальная эволюция волновых профилей с изменением длительности импульса ударного сжатия  
Деформационный мартенсит у поверхности откольного разрушения.

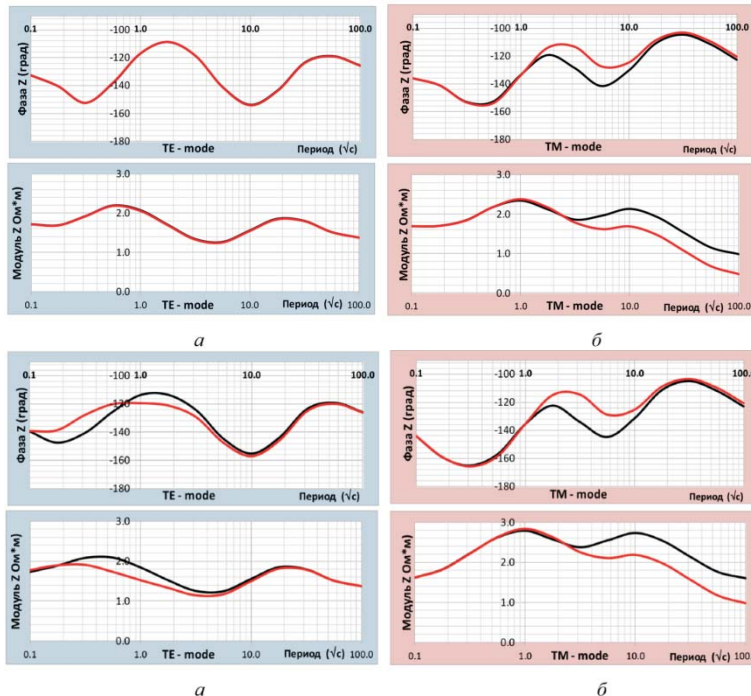
Лаб. ударно-волновых воздействий  
Рук. работ: член-корр. РАН Канель Геннадий Исаакович

# Численная модель электромагнитного поля при формировании разрыва по разлому перед землетрясением

Конечно-разностное представление исследуемой геодинамической модели (геологический разлом с проводящей зоной)



Особенность типа «щелевого эффекта» в исследуемой модели представляет собой узкие субвертикальные слои, которые гальванически соединяют хорошо проводящую верхнюю часть разреза (мощностью от 500 до 100 м) с глубинным хорошо проводящим слоем (чёрные графитизированные сланцы).



Вариации ЭМ-поля (ТЕ и ТМ моды) на расстоянии 22,8 км от разлома с проводящей зоной

на расстоянии 1,2 км от разлома  
 Красный цвет – без учета проводящей зоны в разломе  
 Черный цвет – с учетом «щелевого» эффекта – наличие проводящей зоны в разломе

Полученный результат (вариации ЭМ-поля до 30%) может являться основанием для разработки методики мониторинга электромагнитных полей, измеряемых на поверхности земли на удалении от эпицентра очага землетрясения и непосредственно над разломом, с целью контроля степени готовности разлома к возникновению сейсмического события

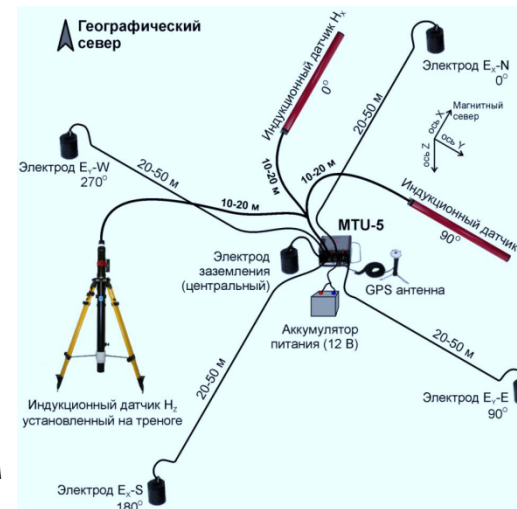


Схема магнито-теллурического зондирования очага землетрясения

Результаты представлены на Ассамблее Европейского геофизического союза (EGU-2018) и опубликованы:

Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Фельдман И.С., Новиков В.А. Численное моделирование вариаций электромагнитных полей при формировании разрыва по разлому перед землетрясением//Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2017, №6, С.42-48

**Руководитель:** Новиков Виктор Александрович, лаб.1.3.3





СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!

