

Федеральное
государственное
бюджетное
учреждение
науки
Объединенный
институт
высоких
температур
РАН



Объединенный
ИВТ РАН

Основные научные достижения ОИВТ РАН в 2020 году (Часть 1)



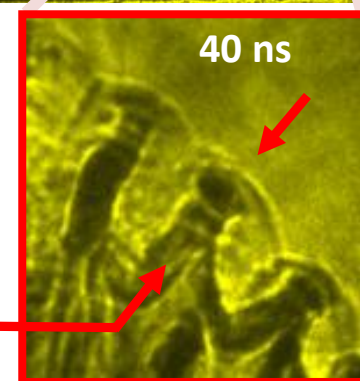
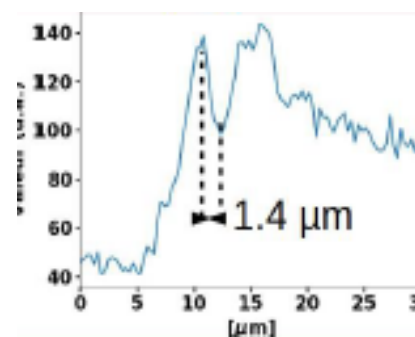
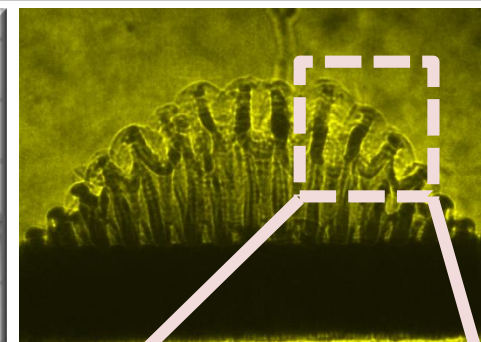
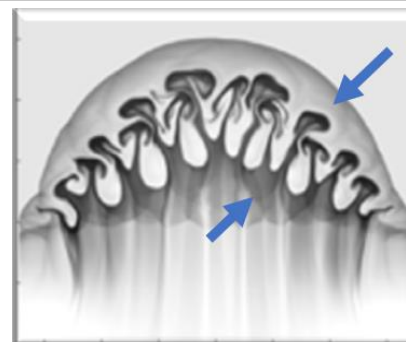
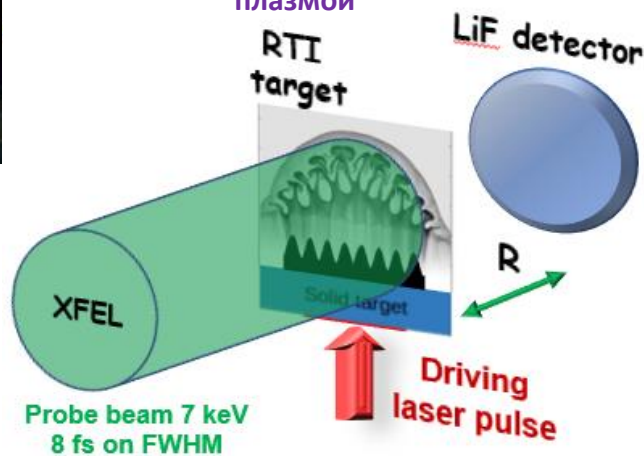
Регистрация динамики развития неустойчивостей Рэля-Тейлора вплоть до стадии диссипации энергии на турбулентностях микронных масштабов

Подробно экспериментально изучена динамика развития неустойчивостей типа Рэля-Тейлора в лазерно индуцированных плазменных потоках. На различных стадиях эволюции с помощью излучения XFEL получены **фазово-контрастные изображения турбулентностей** и неоднородностей в нс лазерной плазме с **разрешением $\sim 1\mu\text{м}$** , определен их **пространственный спектр**. Эволюция турбулентностей прослежена **вплоть до Колмогоровских масштабов** и наименее исследованной **стадии диссипации кинетической энергии**. Данные уточняют модели развития астрофизических объектов (остатков сверхновых) и неустойчивостей при инерциальном синтезе.

Crab Nebula

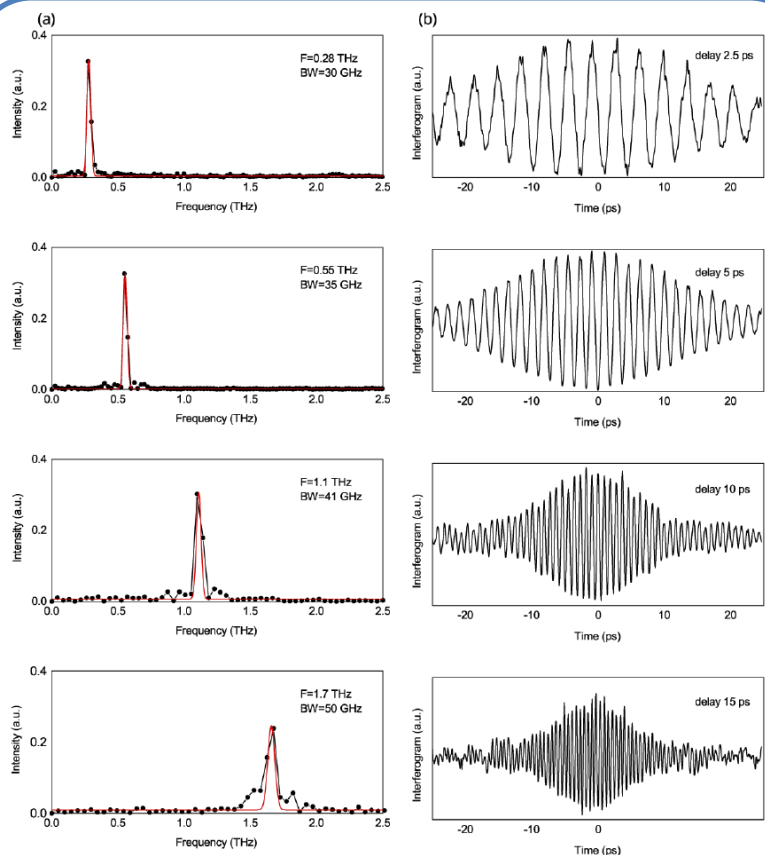


Эксперимент с XFEL и нс лазерной плазмой



G. Rigon et al., **Nature Comm. 12**, accepted (2021)
Micron-scale phenomena observed in a turbulent laser-produced plasma

Универсальный перестраиваемый по спектру источник ТГц излучения с экстремальной напряженностью электрического поля



Пример перестройки в кристалле ОН1 в диапазоне 0,3 до 1,7 ТГц

Разработана универсальная платформа, обеспечивающая генерацию как однопериодных импульсов терагерцового излучения (пиковое значение напряженности электрического поля в десятки МВ/см), так перестраиваемых по центральной частоте и ширине полосы терагерцовых импульсов (напряженность поля в несколько МВ/см). Схема основана на оптическом выпрямлении в органических кристаллах (DAST, ОН1, DSTMS) модулированного во времени лазерного импульса. Перестройка центральной частоты осуществляется в диапазоне от 0,5 до 7 ТГц при минимальной ширине спектра 30 ГГц, что соответствует диапазону энергий фотона $\Delta E = 0,13$ мэВ.

Ovchinnikov A. V., Chefonov O. V., Agranat M.B., Fortov V.E., *et al*, Generation of strong-field spectrally tunable terahertz pulses // *Opt. Express*. 2020. Vol. 28, No. 23. P. 33921. **Q1**

Лаб. № 1.2 – лазерного воздействия

Зав. лаб. к.ф.-м.н. Ситников Дмитрий Сергеевич

Рук. работы с.н.с., к.ф.-м.н. Овчинников Андрей Владимирович

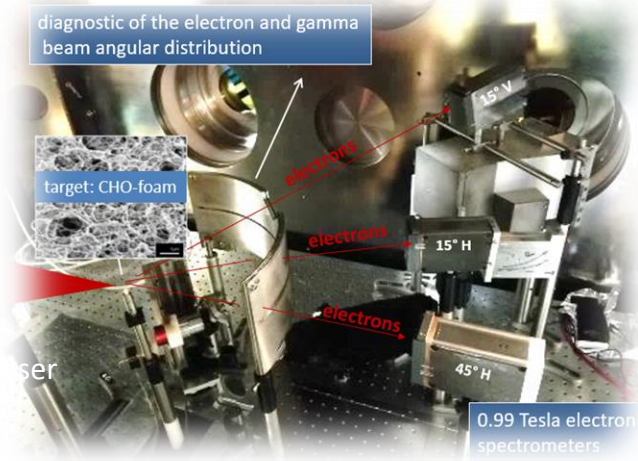


Лазерные источники сильноточных пучков релятивистских электронов и гамма-излучения для диагностики вещества в экстремальных состояниях

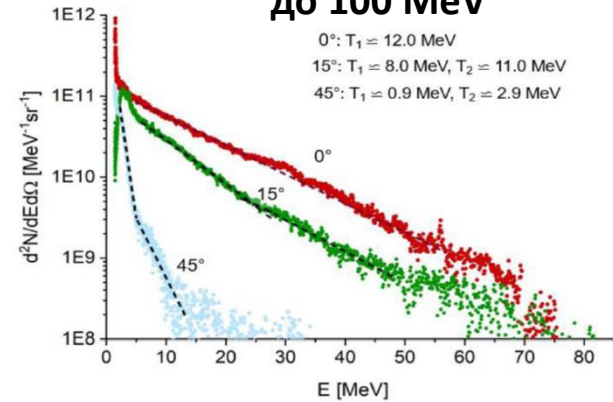


Узконаправленные пучки высокоэнергетических электронов при взаимодействии релятивистски-интенсивных лазерных импульсов с плазмой околоскритической плотности

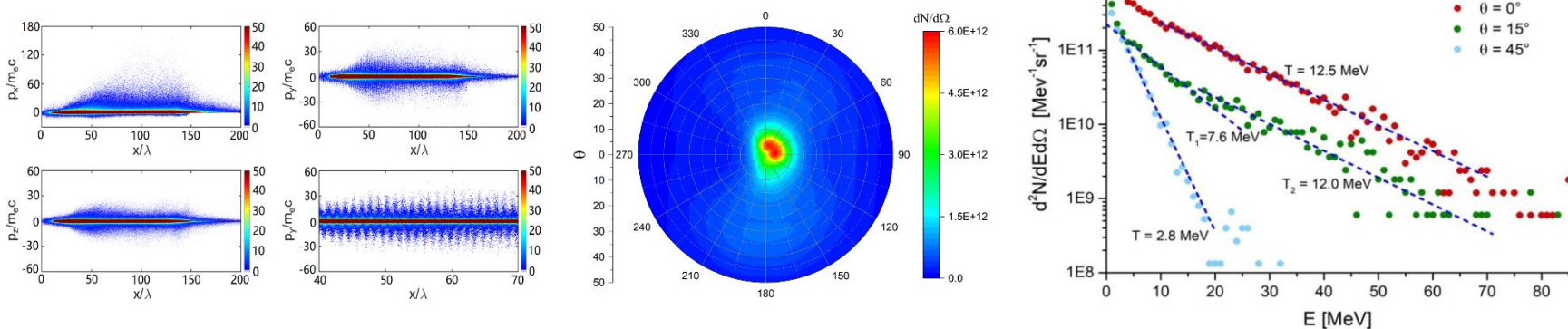
Петаваттная лазерная установка PHELIX, GSI-Darmstadt



Измеренные спектры релятивистских электронов с $T_{\text{eff}} > 10$ MeV и энергиями до 100 MeV



Полномасштабное PIC моделирование реальных параметров эксперимента хорошо описывает результаты измерений

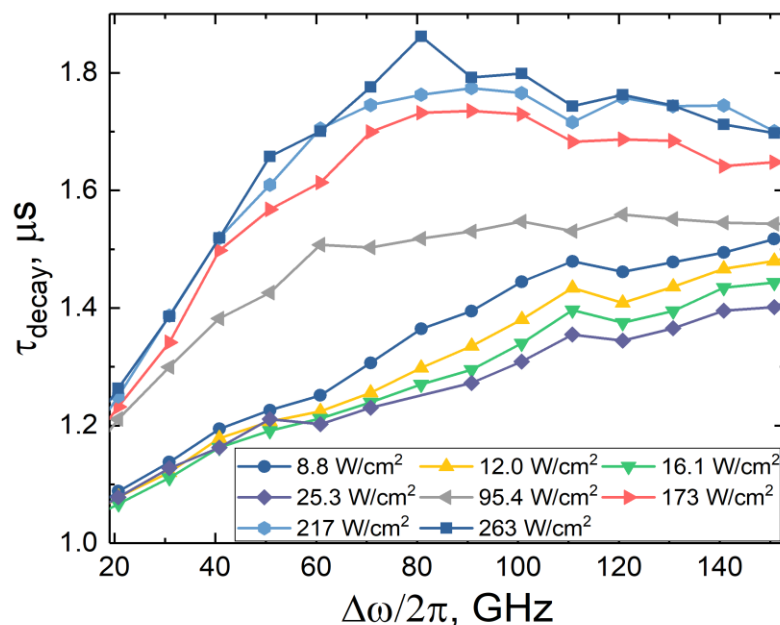


НЕЛИНЕЙНАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В АТОМНЫХ ПАРАХ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

В работе найден и исследован новый режим пленения излучения для случая, когда уширение резонансного перехода, связанное с диполь-дипольным взаимодействием существенно превышает доплеровское уширение. Экспериментальное исследование пленения излучения в оптически плотных парах металла проводилось при различной отстройке и интенсивности лазерного излучения.

На представленном рисунке наблюдается рост времени пленения излучения по мере увеличения интенсивности лазерного излучения. Такое поведение пленения излучения является неожиданным: время затухания излучения увеличивается вместе с интенсивностью возбуждающего атомы резонансного излучения. Влияние сильного диполь-дипольного взаимодействия на ширину спектральных линий в возбужденных газах следует учитывать при исследованиях взаимодействия интенсивного излучения с резонансными средами, включая плазму. Результаты данной экспериментальной работы могут помочь при создании теоретической модели пленения излучения в средах, где потенциальная энергия взаимодействия частиц друг с другом существенно превышает их среднюю кинетическую энергию по аналогии с параметром неидеальности в плазме.

Лаб. 1.4. – Лазерного охлаждения и ультрахолодной плазмы. Зав. лаб. и руководитель работ д.ф.-м.н. Зеленер Борис Борисович



Зависимость времени пленения излучения от отстройки и интенсивности лазерного излучения при концентрации $8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

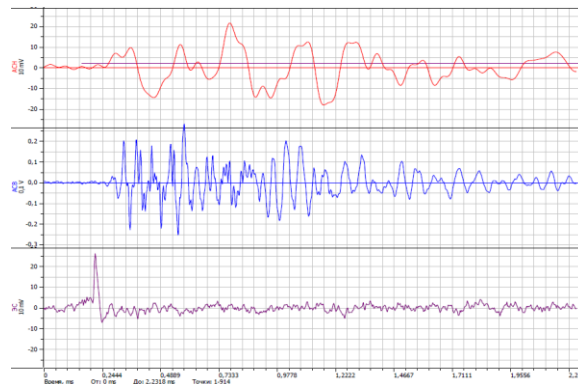
Результаты опубликованы в работе: Sautenkov V., Saakyan S., & Zelener B. B. (2020). Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 256, 107349. (Q1 WoS)

Особенности поведения эмиссии электрических сигналов из горных пород при различных уровнях механического нормального и сдвигового напряжений

Пресс для одноосного сжатия образцов горных пород



Пресс



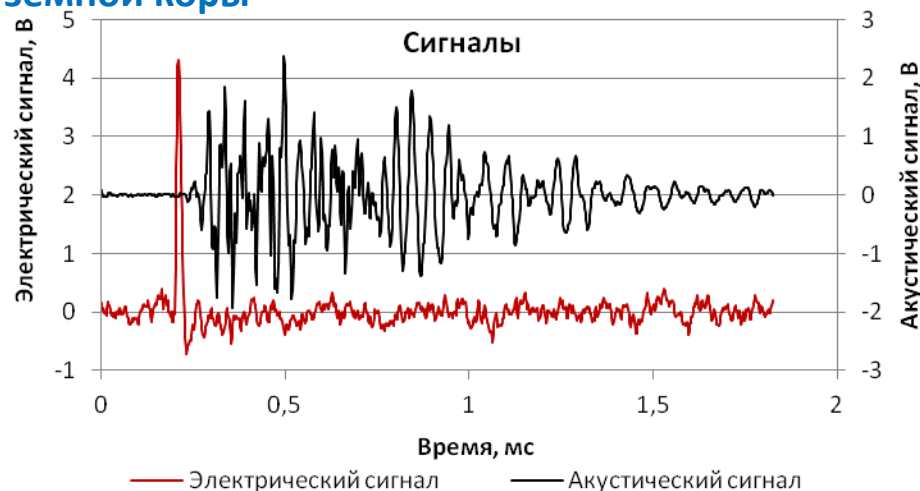
Регистрация акустических и электрических сигналов

Установлено, что при умеренных нагрузках ($<1.4 \text{ кН/см}^2$) возникают электрические сигналы, обусловленные образованием и ростом трещин отрыва, а при значительных нагрузках ($>1.4-1.7 \text{ кН/см}^2$) – сигналы, вызванные процессами смещений по микротрещинам, аналогичным сигналам на слайдере

Слайдер - пружинно-блочная модель разлома земной коры -



Слайдер



Лаб. № 6.1 – Импульсной энергетики в геофизике
Зав. лаб. к.т.н. Новиков Виктор Александрович
Рук. работы в.н.с., к.т.н. Ключкин Вадим Николаевич

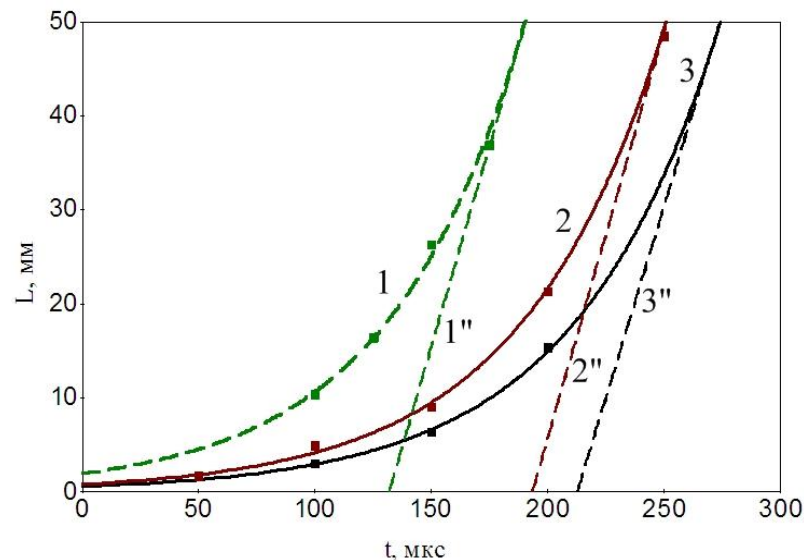


Электроискровое инициирование игорение термитной смеси $Al+CuO$ с наноразмерными компонентами

Ранее интервал времени, связанный с началом стационарного распространения волны горения, характеризовали понятием - период индукции, в течении которого скорость горения приравнивалась нулю, однако использование современных методов скоростной фотографии показало, что на этапе инициирования происходит экспоненциальное ускорение реакции. Траектория фронта горения на начальном участке наилучшим образом может быть аппроксимирована функцией $L(t)=A \cdot \exp(B \cdot t)$ (L - длина заряда в мм, t - время в мкс). Константы функции дают возможность более точного расчета скорости горения в ближней зоне от точки инициирования.



Кадры скоростной фоторегистрации волны горения
Между кадрами 50 мкс



Траектории экспоненциального ускорения волны горения в линейных зарядах смеси наноразмерных порошков $0,8Al+0,2CuO$; точки - эксперимент, линии - аппроксимация функцией $L(t)=A \cdot \exp(B \cdot t)$ при разных значениях тока в инициирующей электрической искре: 1 - 200 А, 2 - 100 А, 3 - 50 А. 1'', 2'', 3'' - линейная аппроксимация стационарной скорости.

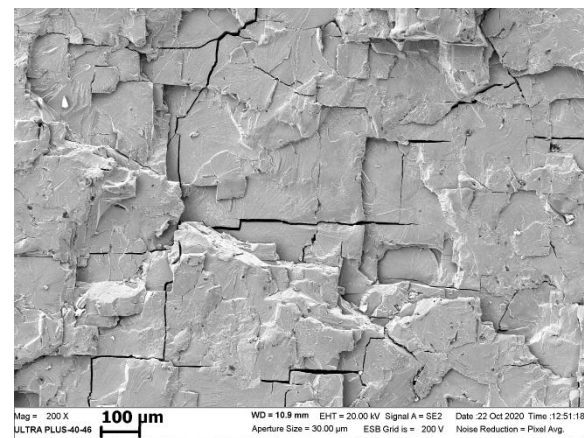
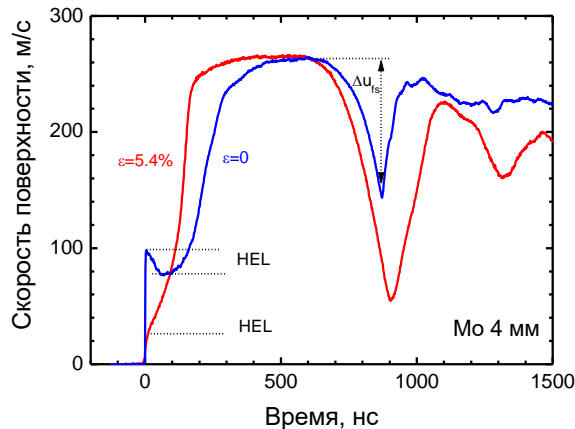
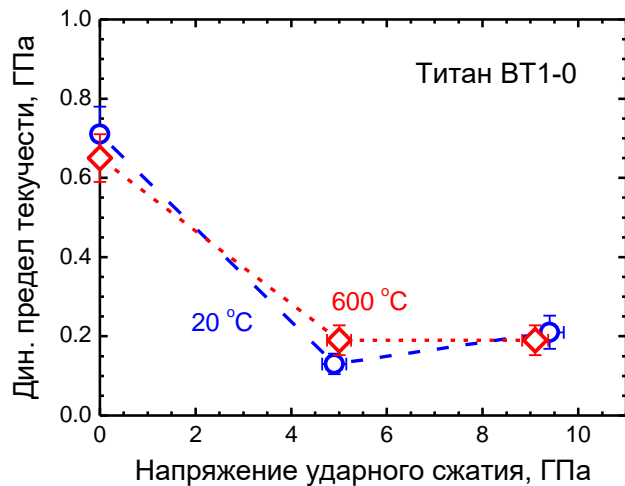
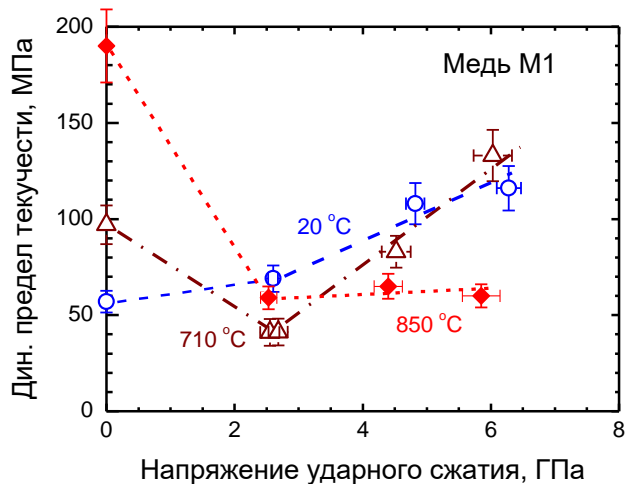


Исследование определяющих факторов и основных закономерностей деформирования и разрушения пластичных и хрупких материалов, в том числе вблизи идеальной прочности и в метастабильных состояниях

Расширен диапазон состояний, доступных для исследований процессов высокоскоростной деформации и разрушения твердых тел.

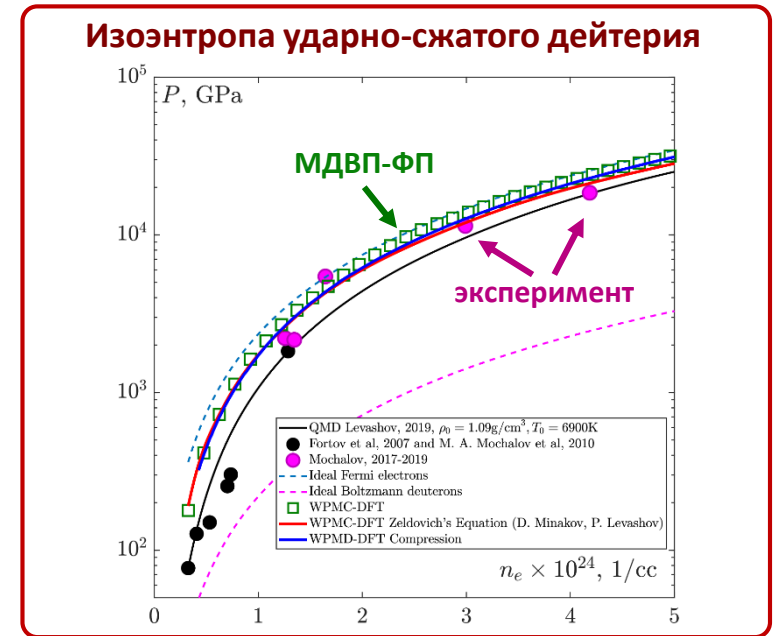
Для металлов со структурой ГЦК начальное сопротивление высокоскоростному деформированию аномально возрастает с увеличением температуры. Новыми экспериментами показано, что, в то время, как при комнатной температуре напряжение течения монотонно возрастает с давлением ударного сжатия, при высоких температурах даже небольшая пластическая деформация в ударной волне сопровождается резким падением напряжения течения и уменьшением или даже исчезновением эффекта аномального термического упрочнения. В противоположность ГЦК металлам для ГПУ титана обнаружено уменьшение предела текучести за ударной волной. Для монокристаллов молибдена обнаружено пятикратное падение динамического предела упругости после небольшой (0.6 %) предварительной пластической деформации. Против ожиданий падение предела упругости сопровождается значительным возрастанием динамической прочности на разрыв, причем возрастание тем больше, чем больше величина предварительной деформации.

Полученные новые экспериментальные данные будут использованы при построении моделей и определяющих соотношений высокоскоростной деформации и разрушения кристаллических материалов.

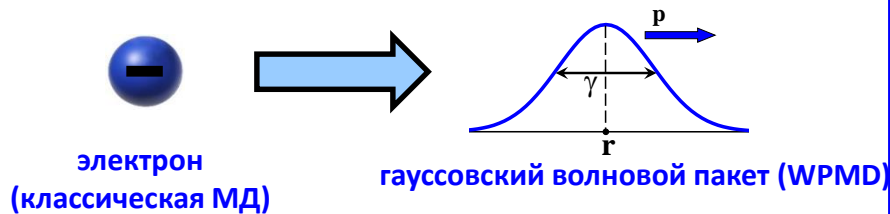


Расчет ударной адиабаты дейтерия с использованием модифицированного метода волновых пакетов МДВП-ФП

- Моделирование неидеальной плазмы на уровне траекторий отдельных электронов и ионов без псевдопотенциалов e-i и e-e взаимодействия
- Исследование равновесных и неравновесных состояний, неадиабатической динамики, релаксационных процессов
- Учет обменного взаимодействия в рамках приближения функционала плотности
- Высокая производительность метода наряду с учетом квантовых эффектов и динамики электронов (по сравнению с TD-DFT)



Метод волновых пакетов (МДВП) с возможностью учета динамики электронов



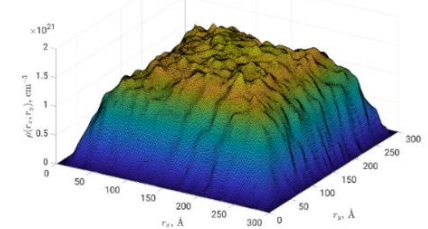
$$\varphi(\mathbf{x}, t) = \left(\frac{3}{2\pi\gamma^2} \right)^{3/4} \exp \left\{ - \left(\frac{3}{4\gamma^2} - \frac{ip_\gamma}{2\hbar\gamma} \right) (\mathbf{x} - \mathbf{r})^2 + \frac{i}{\hbar} \mathbf{p} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{r}) \right\}$$

Приближение Хартри: $\Psi(\mathbf{x}, t) = \prod_k \varphi_k(\mathbf{x}, t)$

Метод функционала плотности (ФП)

Электронная плотность:

$$n(\mathbf{r}, t) = \sum_{k=1}^N \varphi_k(\mathbf{r}, t) \varphi_k^*(\mathbf{r}, t)$$



Добавочная энергия:

$$H_{\text{ext}} = E_{\text{XC}}[n] + E_{\text{self}} + T_s[n] - T_{\text{WP}}$$

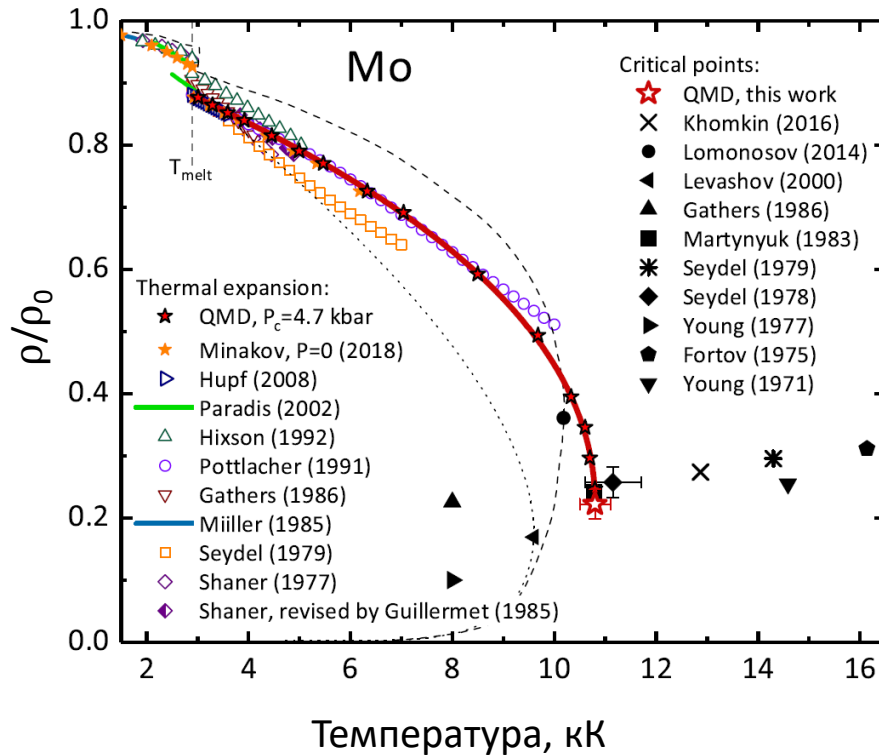
$$E_{\text{XC}}^{\text{LSDA}}[n_\uparrow, n_\downarrow] = \int \epsilon_{\text{XC}}(n_\uparrow, n_\downarrow) n(\mathbf{r}) d\mathbf{r},$$

$$T_s[n] = \frac{3}{10} (3\pi^2)^{2/3} \int n(\mathbf{r})^{5/3} d\mathbf{r}.$$



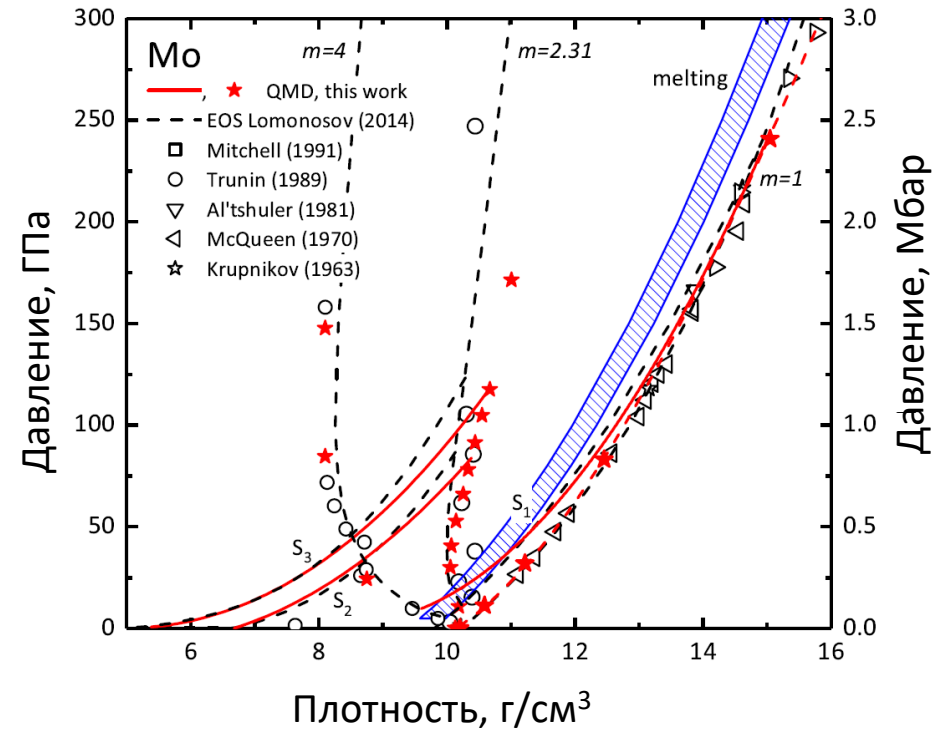
ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО МОЛИБДЕНА

Фазовая диаграмма молибдена



- Строгий анализ сходимости и статистической погрешности
- Расчеты теплоемкости, скорости звука, коэффициента Грюнайзена
- Рост изохорной теплоемкости жидкого молибдена в несколько раз вблизи критической температуры

Ударно-волновые эксперименты для Мо



Оценка критических параметров молибдена:

$$T_c = 10.8 \pm 0.3 \text{ кК};$$
$$P_c = 4.7 \pm 1.0 \text{ кбар};$$
$$\rho_c = 2.25 \pm 0.24 \text{ г/см}^3;$$
$$Z_c = 0.22 \pm 0.05$$

Лаборатория 7.1
моделирования
свойств материалов

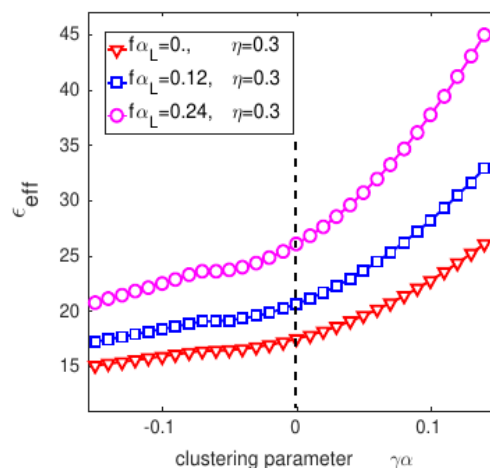
Минаков Д.В.
Парамонов М.А.
Левашов Павел
Ремирович



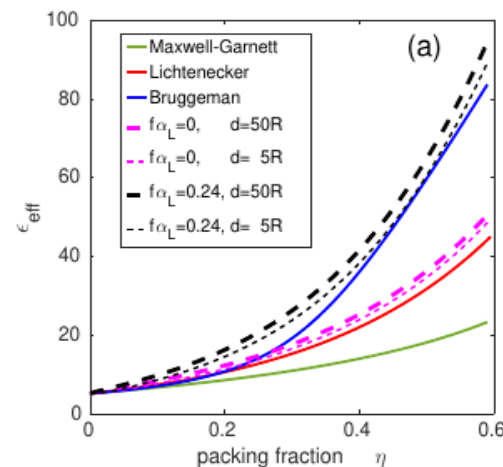
Теоретическое исследование диэлектрической проницаемости нанокompозитов с перестраиваемой кластеризацией включений

Впервые получены аналитические выражения для диэлектрической проницаемости нано-композита, интегрально учитывающие реакционные эффекты полимерной матрицы и эффекты кластеризации включений через кумулятивный учет поля соседних включений по теории среднего поля в приближении Онсагера. Показано, что предложенная теория описывает закон смешения Лихтенекера при малых значениях объемной фракции включений, если не учитывать реакцию полимера. В противном случае, при учете реакции основного полимера, аналитические результаты согласуются с законом смешения Брюггемана.

Нанокompозитные накопители с диэлектрическими включениями нацелены на сохранение электроэнергии в батареях и суперконденсаторах, что полезно как для портативных энергоустановок, так и для предотвращения кратковременных нарушений электроснабжения промышленных потребителей. Результаты исследования пригодятся для легких, гибких и емкостных нанокompозитов нового поколения для применения в электрических устройствах которые необходимы для робототехники, технологии создания искусственных мышц, медицинских систем по доставке лекарств в локальные точки живого организма, новых материалов в оптоэлектронных и фотоэлектрических приложениях, разработке плазмонных биосенсоров и гиперболических метаматериалов и др.



Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости ϵ_{eff} от параметра кластеризации $\gamma\alpha$ для трех констант поля реакции f

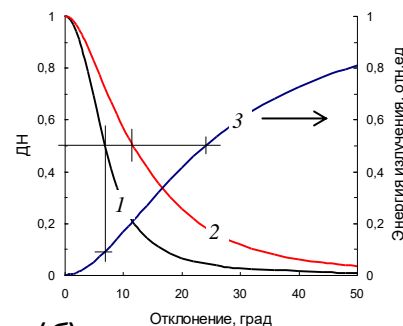
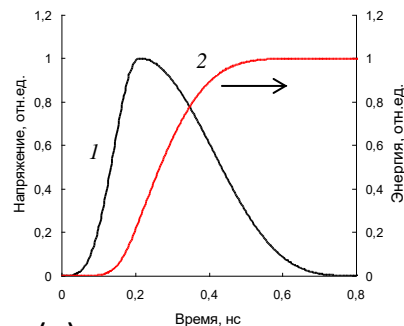
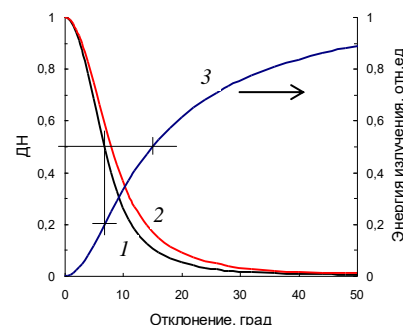
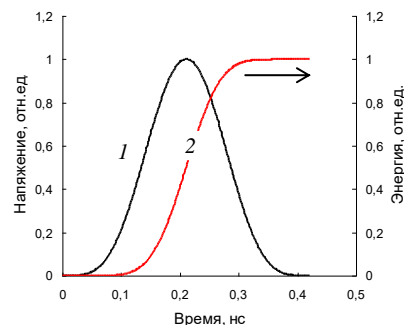
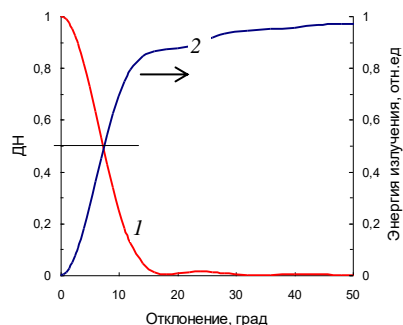
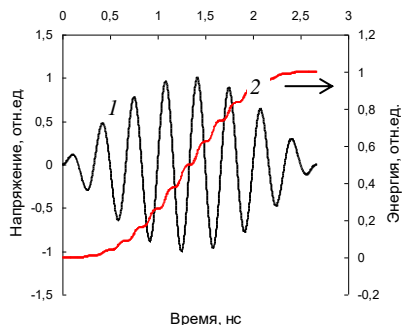


Теоретические предсказания для изотропной диэлектрической проницаемости нанокompозита $\epsilon_{eff}(\eta)$ в сравнении с правилами смешивания Брюггемана, Лихтенекера и Максвелла-Гарнетта

E. Allahyarov, Theoretical Study of Nanocomposite Permittivity with a Tunable Clustering of Inclusions, *Advanced Theory and Simulation* 3 (2020) 2000005, 10.1002/adts.202000005

Лаб. № 7.2 – теплофизических и кинетических свойств веществ
Зав. лаб. д.ф.-м.н. Храпак Алексей Георгиевич
Рук. работы в.н.с., д.ф.-м.н. Аллахьяров Эльшад Адилкомович

НАПРАВЛЕННОСТЬ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АПЕРТУРНОГО РАСКРЫВА



(а): ВОЗ

(б)

Возможна ли компрессия СШП излучения в пространстве ???

- Ширина лепестка ЭДН антенны больше, чем лепестка МДН ($\Delta\varphi_3 > \Delta\varphi_M$)
- 50% энергии импульса направленного СШП излучения оказывается внутри телесного угла, раскрыв которого больше (значительно больше), чем полная ширина лепестка ЭДН антенны, определяемая из условия ЭДН($\pm\Delta\varphi_3$) = 0,5
- Энергетическая эффективность лепестка МДН антенны меньше, чем лепестка ЭДН, а последняя меньше 50% полной энергии излучения $\eta(\Delta\varphi_M) < \eta(\Delta\varphi_3) < 0,5$
- Нормированное значение ЭКНД круглой антенны $D_3 / D_{\max} \leq 0,685$ при равноамплитудном и синхронном возбуждении её апертуры
- При увеличении площади раскрыва антенны угловая ширина $\Delta\varphi_3$ лепестка ЭДН уменьшается, но доля энергии бокового и заднего СШП излучения увеличивается



Излучение, не локализованное в частотной области, не может быть эффективно локализовано в пространстве физическом



Разработка сверхпроводящего токоограничителя–предохранителя (ВТСП-П)

Руководитель: д.т.н., проф. Копылов С.И. Исполнители: к.ф-м.н. Желтов В.В., н.с. Балашов Н.Н., Отдел №2, Лаборатория № 2.2. ОИВТ РАН.

Завершены работы по договору №: Д-2438-19 на тему «Исследование эффекта взрывного разрушения сверхпроводника электрическим током и возможностей его использования в токоограничителях большой мощности». Подобраны и испытаны варианты ВТСП-лент со свойствами, необходимыми для изготовления ВТСП-П, разработана программа расчета переходных процессов, позволяющая найти параметры ВТСП-П с учетом конкретных характеристик защищаемой электрической сети, экспериментально доказана возможность разработки ВТСП-П с необходимыми характеристиками. ВТСП-П является принципиально новым вариантом токоограничителя, эффективным для защиты мощных электрических сетей в случае короткого замыкания, для среднего и высокого классов напряжений. Ожидаемая себестоимость более, чем на порядок ниже себестоимости токоограничителей всех известных типов

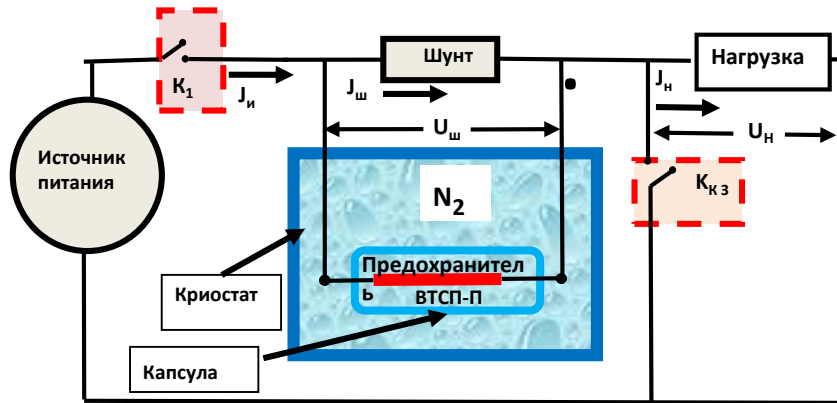
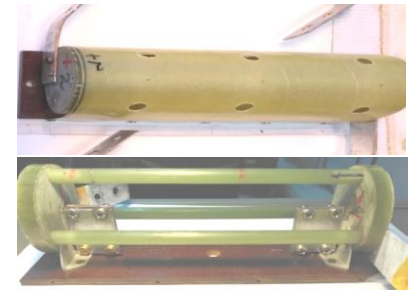


Схема экспериментов по электровзрыву образцов.

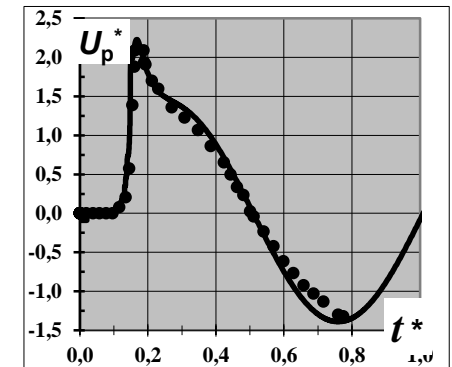
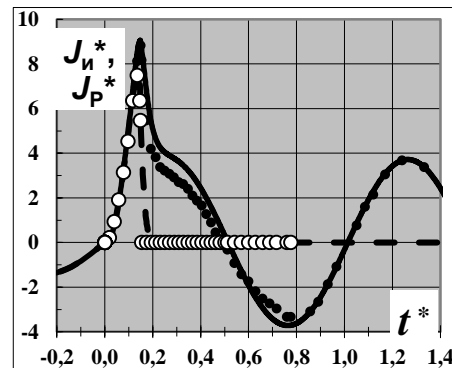
Сравнительные характеристики токоограничителей различных типов при мощности 200 МВт

Тип токоограничителя (ТО)	Потребляемая мощность кВт	Масса тонн	Стоимость Млн. \$
ТО с насыщенным магнитопроводом	700	300	2
ТО трансформаторного типа с медными обмотками	240	34*	2,4
ТО трансформаторного типа с ВТСП-обмотками	40***	8**	5
Резистивный сверхпроводящий ТО	50***	11	12
Предлагаемый ВТСП-П	5	0,5***	0,1

* - в том числе масса меди в обмотках 26 Т; ** - масса ВТСП-лент в обмотках 1,1 Т; в том числе масса шунта 0,4 Т; мощность указана с учетом холодильного коэффициента $k_x=10$



Эксперименты по электровзрыву образцов: испытательный стенд в сборе, капсула с образцом, образец в открытой капсуле.



Сравнение экспериментальных и расчетных данных при номинальном токе и напряжении: $J_n = 370 \text{ A}$, $U_n = 1,18 \text{ кВ}$. $t^*=50 \cdot t$. $J^*=J/J_n$, $U^*=U/U_n$. $J_{и}^*$ - ток сети (сплошные линии –расчет, темные маркеры - эксперимент), J_p^* -ток ВТСП ленты (пунктир – расчет, светлые маркеры –эксперимент. U^* - напряжение на ВТСП-П (линии –расчет, маркеры – эксперимент.



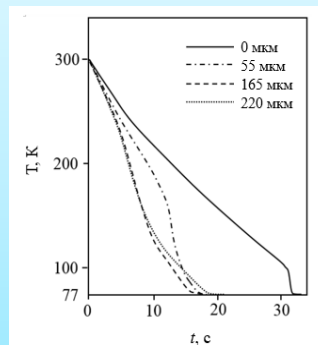
Оптимальные характеристики изоляционного покрытия для быстрого охлаждения высокотемпературных сверхпроводников жидким азотом

Старший научный сотрудник, канд. хим. наук С. В. Самойленков, Отдел № 2, Лаборатория № 2.2 ОИВТ РАН

ВТСП-токоограничивающее устройство на подстанции АО «ОЭК» в Москве (2019)



Объяснение процесса теплопереноса (эта работа)



Улучшенная ВТСП-лента в жидком азоте



Оптимальная конструкция ВТСП ТОУ



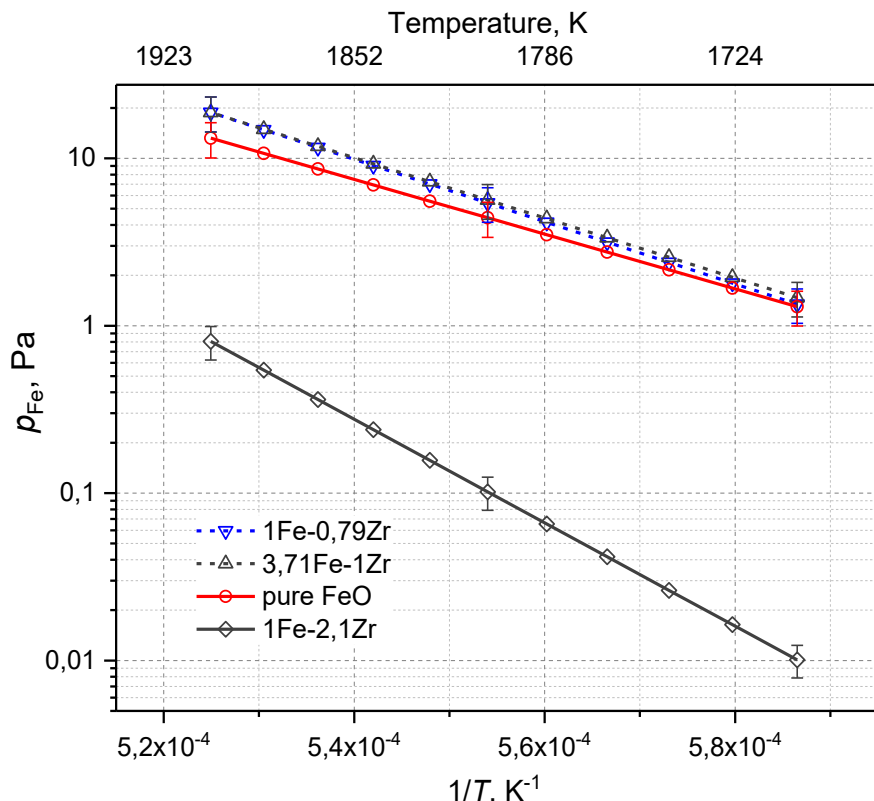
Разработан и верифицирован экспериментально метод расчета оптимальной толщины и теплопроводности электроизоляционного покрытия на ВТСП-ленте. Метод позволяет направленно модифицировать сверхпроводники и как результат сократить габариты и стоимость токоограничивающих и других ВТСП-устройств для электроэнергетики. Эффект достигается за счет значительного (на десятки %) ускорения процесса охлаждения ВТСП-модулей, изготовленных из ВТСП-ленты с определенными в данной работе покрытиями.

1. С.В.Самойленков, В.И.Щербаков, «Оптимальная толщина изоляционного слоя для обеспечения максимального теплопереноса при охлаждении металлической поверхности жидким азотом», Прикладная физика, 2020, №6, в печати.
2. S.V.Samoilenkov, V.I.Shcherbakov, D.A.Gorbunova, D.Kumarov, «Heating by Electrical Current of Stainless Steel-Stabilized Current Limiting Elements Made from 2G HTSC Tapes and Its Dependence on Heat Transfer Parameters to Liquid Nitrogen», Technical Physics Letters 2020, т.46, стр.23-26.

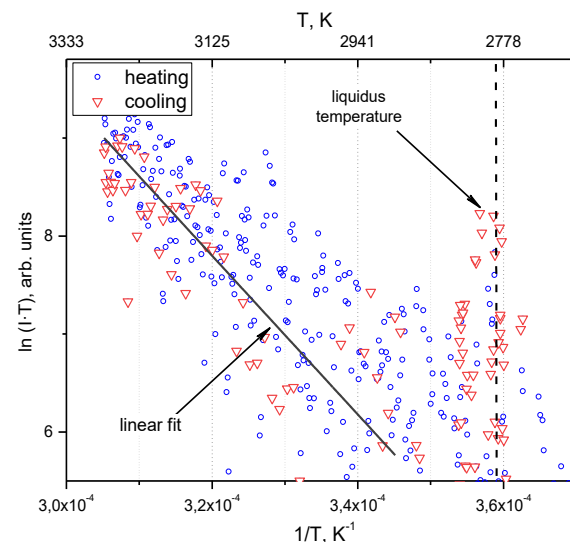
Госбюджетное финансирование - ГР. № АААА-А19-119021190156-8

Высокотемпературная масс-спектрометрия системы Fe-Zr-O и ZrO_2

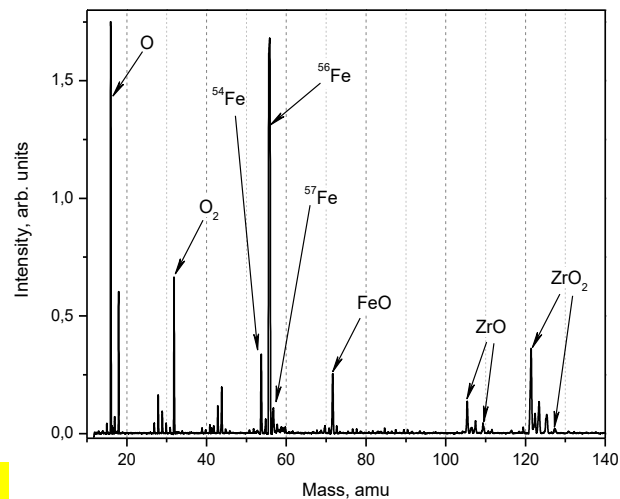
Впервые получены данные по испарению железа из расплава вплоть до 1900 К. С помощью лазерно - индуцированного испарения удалось получить данные по составу пара в недоступном ранее диапазоне температур.



Парциальное давление Fe при кнудсеновском испарении Fe-Zr-O различного состава



Испарение ZrO_2 вплоть до 3300 К



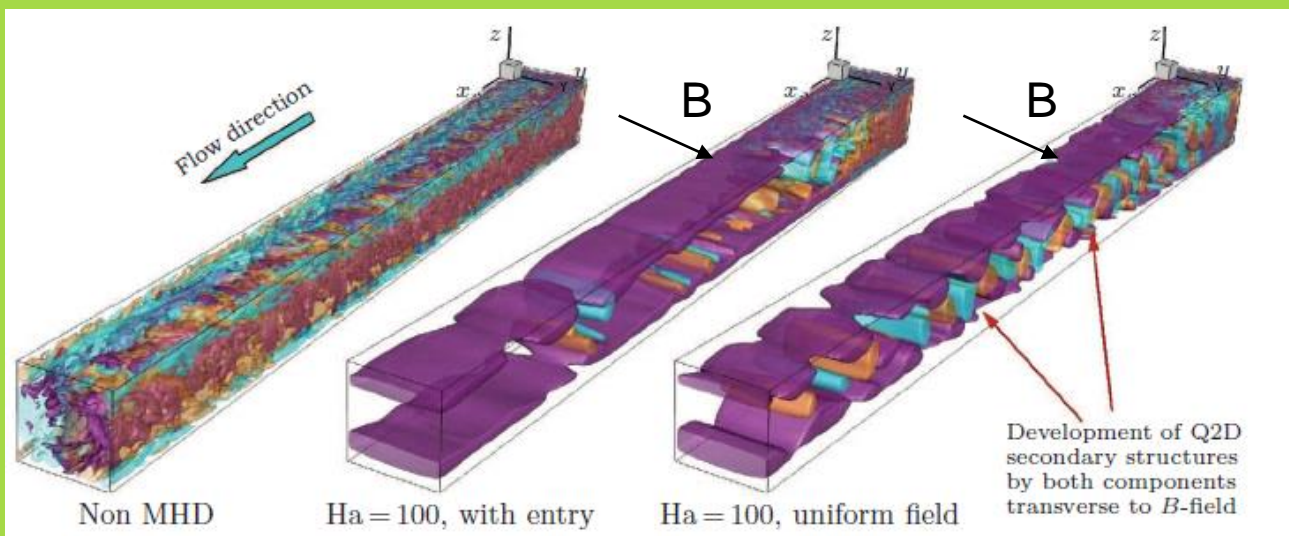
Масс-спектр Fe-Zr-O при 3000 К

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ НА ПОТОК ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Лаборатория № 5 – инженерной теплофизики Беляев И.А., Разуванов Н.Г., Пятницкая Н.Ю.

Belyaev I., Krasnov D., Kolesnikov Yu., Biryukov D., Chernysh D., Zikanov O., Listratov Ya. Effects of symmetry on magnetohydrodynamic mixed convection flow in a vertical duct //Physics of Fluids. – 2020. – Т. 32. – №. 9. – С. 094106

Krasnov D. et al. LIQUID METAL SWIRLING FLOW AFFECTED BY TRANSVERSE MAGNETIC FIELD //Magnetohydrodynamics (0024-998X). – 2020. – Т. 56.



Экспериментально обнаружено, что генерация поперечных валов на начальном участке течения позволяет пассивно управлять структурой течения, при этом конфигурация обогрева остается существенным фактором.

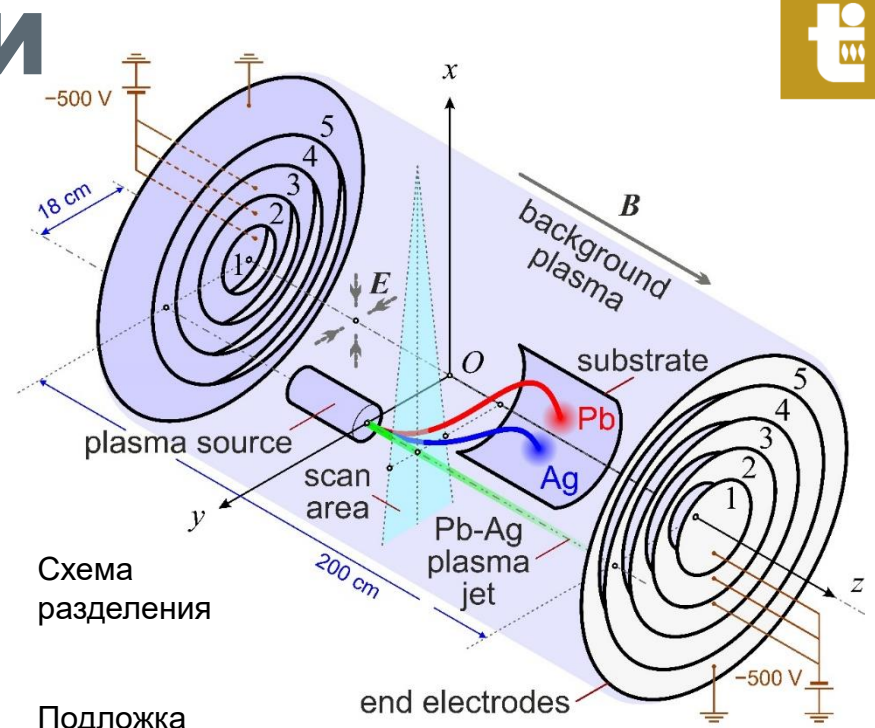
В ходе **расчетно-экспериментального**

исследования обнаружено, что структура образующихся течений различна и механизм образования магнитно-конвективных пульсаций в симметрично обогреваемых и несимметрично обогреваемых каналах различен.

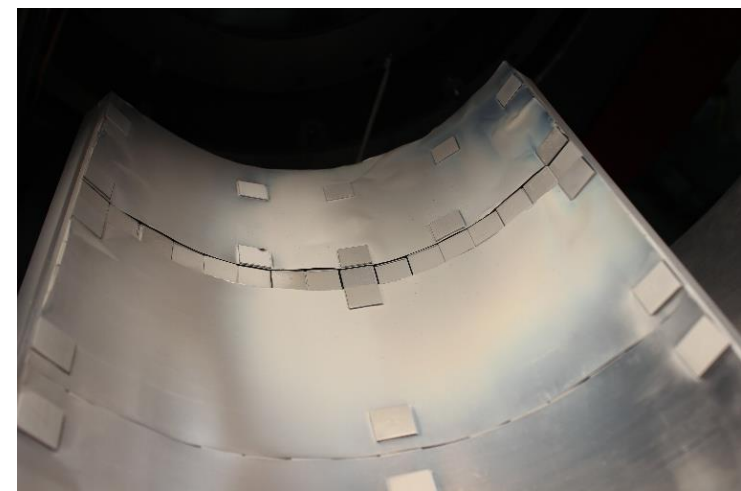
Структура течения жидкого металла визуализирована по результатам **прямого численного моделирования** в ходе совместного проекта с Впервые экспериментально было обнаружено, что в трубах достаточно сильное магнитное поле может подавлять магнитно-конвективные пульсации при любом приложенном нагреве. Было показано, что магнитно-конвективные пульсации сильно влияют на перенос тепла, будучи в состоянии существенно усилить его.

ЭФФЕКТ СЕПАРАЦИИ

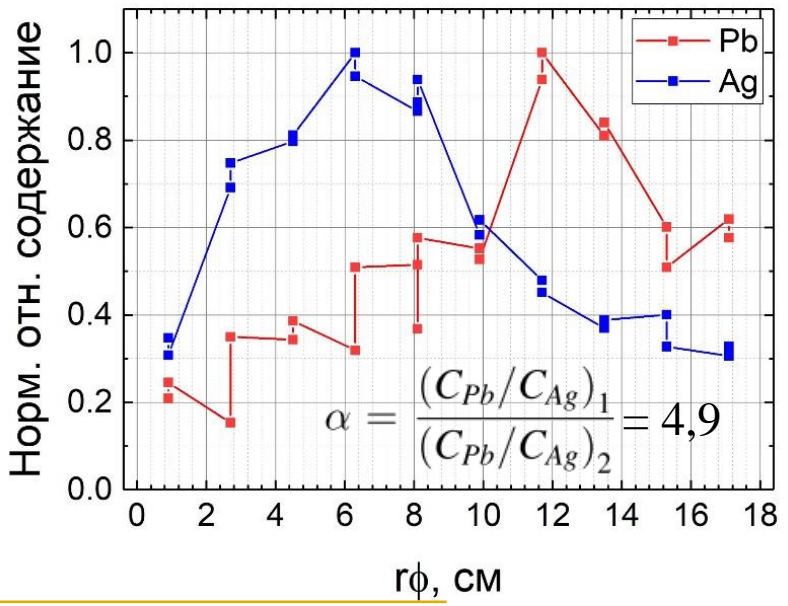
Эксперименты подтвердили возможность разделения веществ в плазменном объеме в комбинированных электрическом и магнитном полях. EDS анализ и взвешивание экспериментальных образцов подложки с осажденными Pb и Ag показал, что наблюдается разделение максимумов их концентраций в пространстве



Подложка



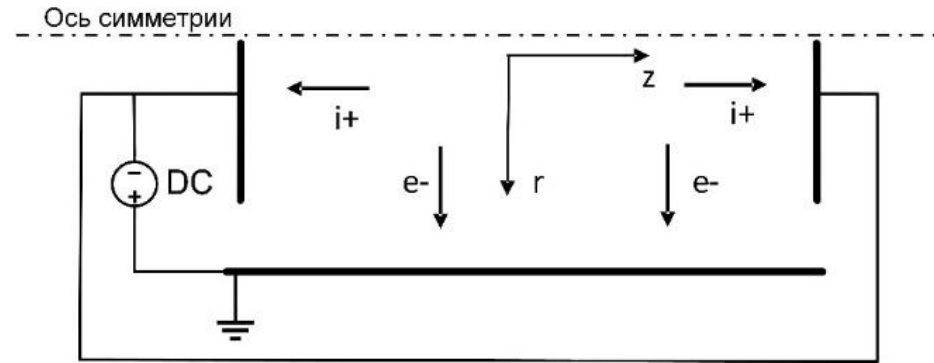
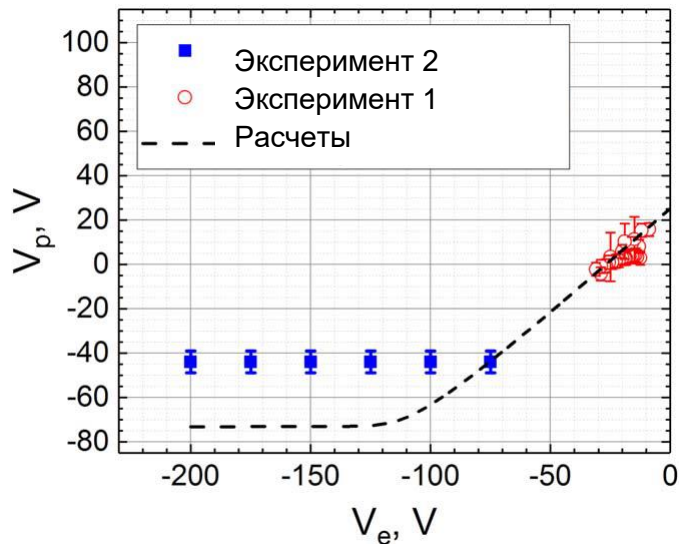
Оценка элементного состава (EDS анализ)



УСЛОВИЯ КОМПЕНСАЦИИ ЗАРЯДА

Предложена модель системы, в которой плазменный столб поддерживается при отрицательном потенциале. Введенная эквивалентная электрическая схема разряда позволила получить аналитическую формулу потенциала плазмы на оси такой системы в зависимости от её параметров. Предсказания модели хорошо согласуются с имеющимися данными

Сравнение теоретически полученных значений плазменного потенциала с экспериментальными данными



Баланс токов на катоде →

$$I_e - I_i = I$$

$$I_{es} \exp\left(-\frac{V_{sh}}{T_e}\right) - I_{is} = I$$

Поперечная проводимость плазмы →

$$j_{er} = \frac{n_e e^2}{m} \tau \frac{E_r}{1 + (\omega_{ce} \tau)^2}$$

$$R_{e\perp} = \frac{H^2}{m_e n_e (v_{ea} + v_{ei})} \frac{\ln(r_g / r_e)}{2\pi L}$$

Потенциал плазменного столба →

$$V_p = V_e - T_e \ln\left(\frac{I_{is}}{I_{es}} + \frac{V_p}{R_{e\perp} I_{es}}\right)$$

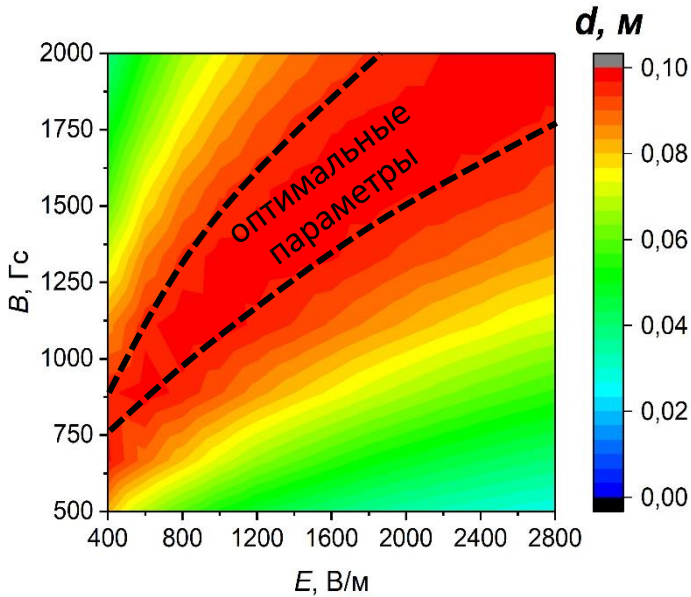
$$R_{e\perp} I_{es} = \frac{1}{4} S e^{1.5} \sqrt{\frac{8T_e}{\pi m^3}} B^2 \frac{\ln(r_g / r_e)}{2\pi L} \times$$

$$\times \frac{1}{(n_a \cdot 10^{-14} (-6.5 + 7.8T_e - 0.41T_e^2) + 1.7 \cdot 10^{-12} n_e \ln \Lambda \cdot T_e^{-3/2})}$$

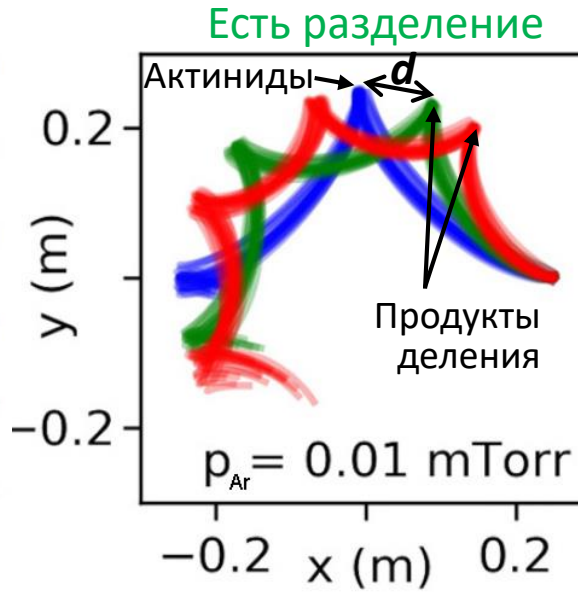
Моделирование плазменной сепарации отработавшего ядерного топлива РС-методом в одночастичном приближении.

Смирнов В.С., Егоров Р.О., Кисленко С.А., Гавриков А.В., Антонов Н.Н., Смирнов В.П.

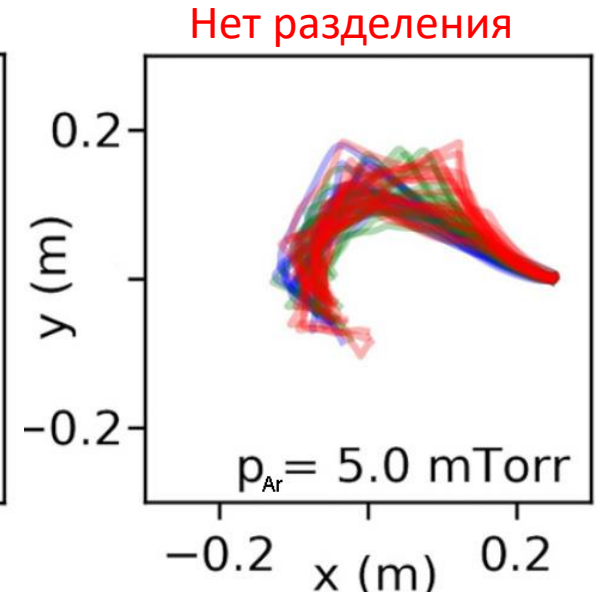
Лаборатория №2.3. – плазмы (совместно с Лаб. №2.1.)



Расстояние d между разделяемыми потоками в зависимости от E и B в сепараторе



Траектории ионного потока, имитирующего по составу отработавшее ядерное топливо при различных давлениях аргона.



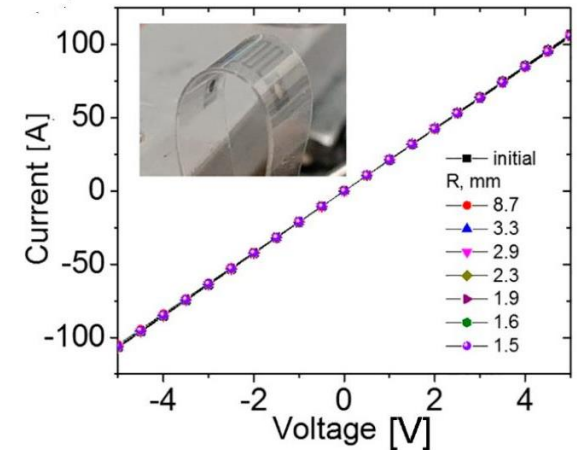
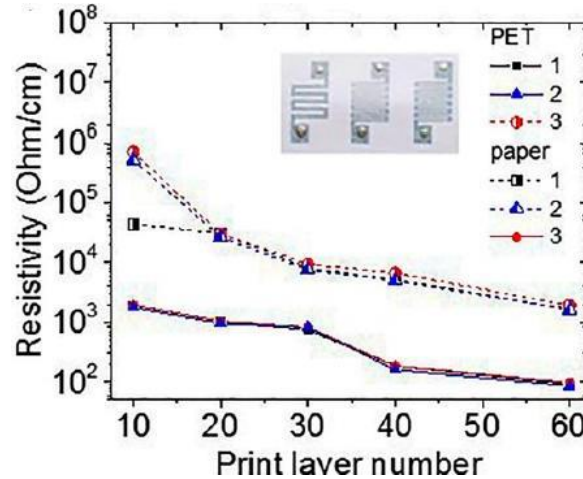
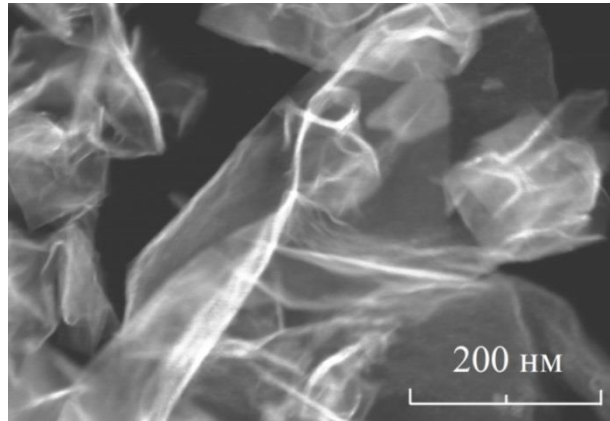
Выводы: 1. Найдена область оптимальных значений магнитного и электрического полей в установке Лаплас, обеспечивающих максимальное пространственное разделение актиноидов и продуктов деления.

2. Показано, что в аргоне эффект сепарации невозможен при давлении больше ~ 1 мТорр. Сепарация в гелии возможна в столкновительном режиме при давлениях вплоть до ~ 10 мТорр.

Публикация: Smirnov V.S. et al. // Phys. Plasmas. 2020. V. 27. P. 113503.

2 D печать резистивных элементов наноэлектроники с использованием синтезированного в плазме графена

Впервые показана возможность применения графена в виде хлопьев для получения резистивных элементов с высокой подвижностью электронов и с разной геометрией на полимерном и бумажном носителе



Графен, полученный при пиролизе в плазме смеси: гелий/пропан-бутан

Зависимость сопротивления элементов трех типов от числа напечатанных слоев

ВАХ напечатанных элементов при разных изгибах ПЭТ

Условия синтеза графеновых хлопьев	Толщина графена в виде хлопьев	Поперечный размер графена	Сопротивление графена R_s	Сопротивление композитной пленки R_s	Подвижность электронов в пленке
	нм	нм	кОм/квадрат	кОм / квадрат	см ² /В с
Плазма Ar + пропан-бутан	2-10	50-800	1500	4-0	<1
Плазма He + пропан-бутан	0.4-2	50-200	4.5	0.4-0.8	6-90



Спасибо за внимание!

