

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ  
о деятельности**

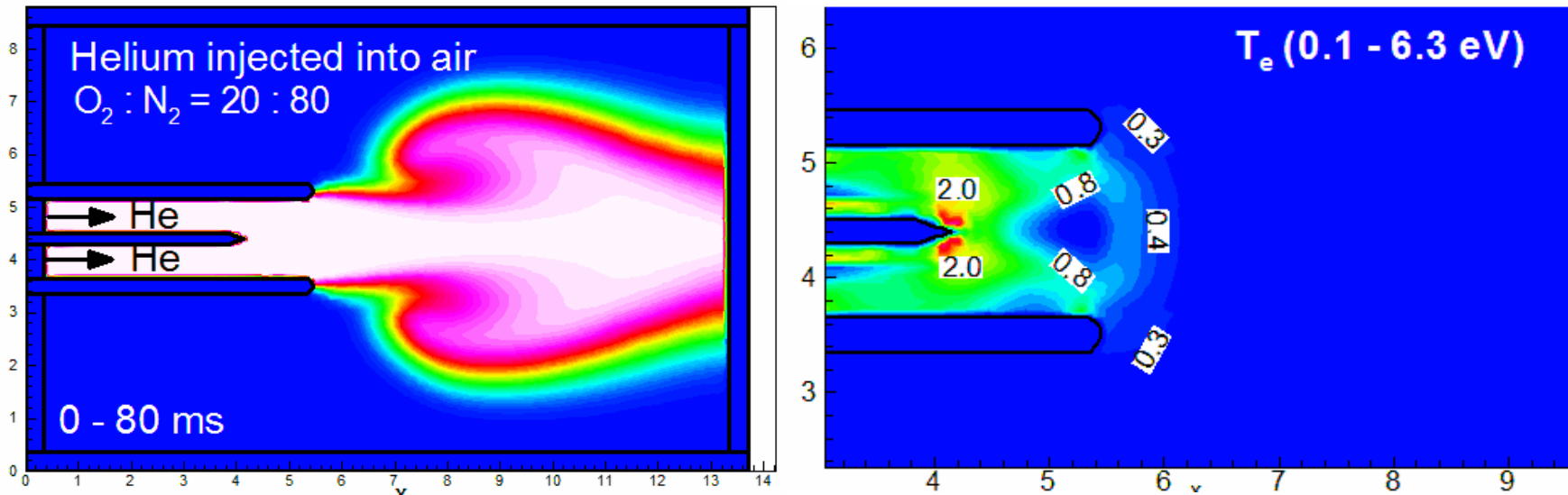
**Структурного подразделения электрофизических  
и тепловых процессов (НИЦ-4)**

**Объединенного института высоких температур  
РАН**

**в 2015 г.**

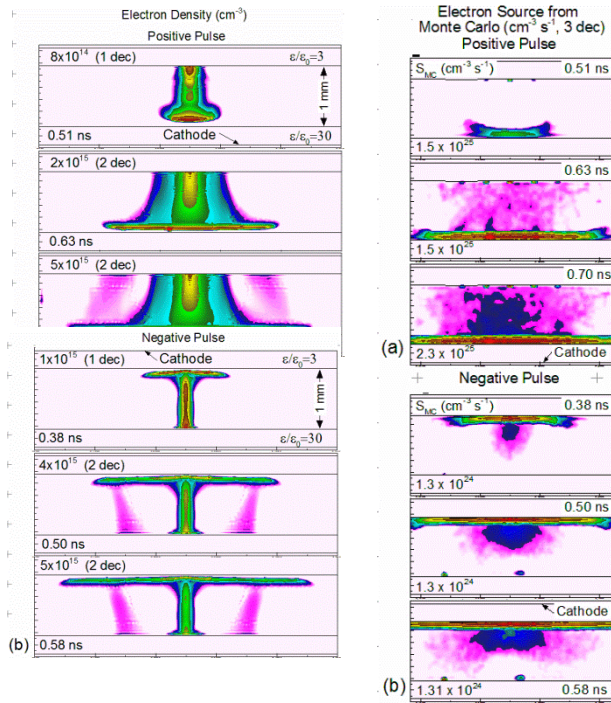
# **Плазменные и электронно-пучковые технологии**

# Моделирование низкотемпературных плазменных струй, генерируемых СВЧ-генераторами

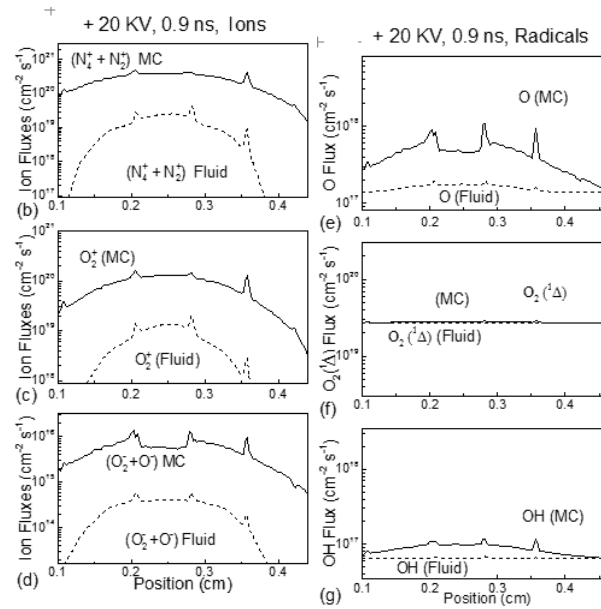


- Созданы базы данных для расчета химических реакций в смесях воздуха с гелием и аргоном.
- Используя двумерную многожидкостную программу *nonPDPSIM*, проведены расчеты источника низкотемпературной плазмы атмосферного давления для медицинских приложений .
- Рассчитаны поля скоростей и нестационарные процессы инжектирования струи гелия в воздух атмосферного давления.
- Рассчитывались электронная концентрация и температура электронов.

# Потоки радикалов и заряженных частиц к поверхности диэлектрика в барьерном разряде: расчеты с использованием метода Монте Карло



- Плотность электронов ( $\text{cm}^{-3}$ ) и источники ионизации вторичными электронами ( $\text{cm}^{-3} \text{c}^{-1}$ ) (метод Монте Карло) в три последовательных момента времени для положительного (+20 кВ) и отрицательного импульса (-20 кВ) импульсов.

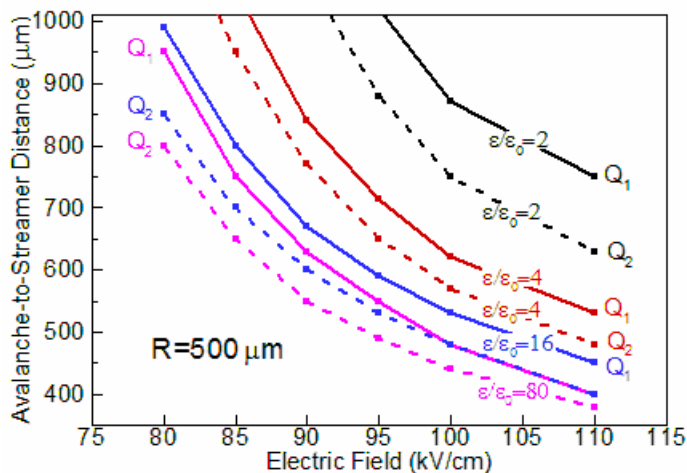
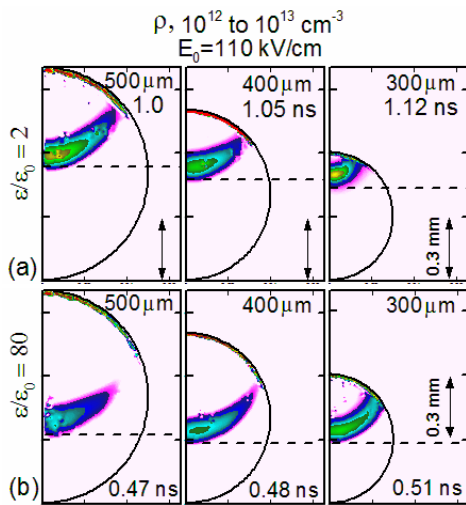


- Мгновенные потоки ионов и радикалов, рассчитанные по жидкостной модели и методом Монте Карло.
- Жидкостная модель занижает потоки примерно на порядок.



- В работе приводятся результаты численного расчета потоков фотонов, ионов и радикалов к поверхности диэлектрика в диэлектрическом барьерном разряде (ДБР).
- Расчеты проводились как с помощью метода Монте-Карло так и в обычном жидкостном приближении (платформа *nonPDPSIM*).

# Предпробойные явления в пузырьках погруженных в жидкость: роль размера пузырька и начального заряда



Расстояния, проходимые лавиной до ее перехода в стример, в зависимости от приложенного поля для пузырька радиусом 500 мкм. Сплошные кривые соответствуют начальному заряду  $Q_1 = 40$  электронно-ионных пар, пунктирная -  $Q_2 = 1.1 \times 10^4$ .

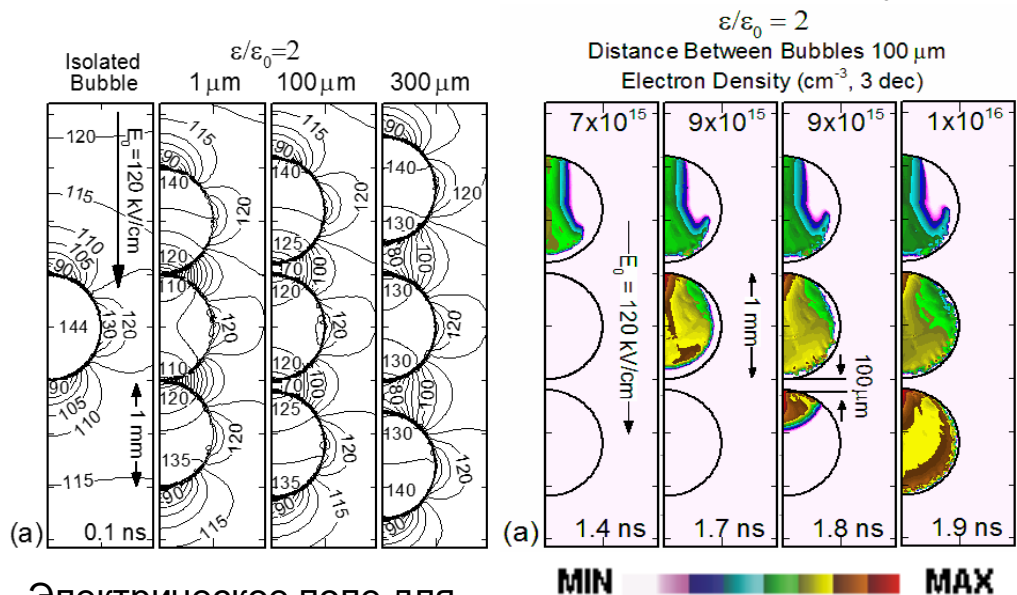
- В работе исследовалось развитие стримеров в пузырьках погруженных в жидкость с различной диэлектрической проницаемостью.
- Разряд в пузырьках развивается аналогично разряду в диэлектрическом барьерном разряде, а диэлектриком является окружающая жидкость.
- Лавинно-стримерный переход в однородном электрическом поле определяется величиной приложенного напряжения и параметром PR (размер пузырька на давление внутри него), и зависит от расположения и величины свободных зарядов.
- Стримеры не образуются в пузырьках небольшого размера при малом начальном заряде и малых приложенных полях.

Пространственный заряд в момент лавинно-стримерного перехода для пузырьков радиусом 500, 400 и 300 мкм, жидкость с  $\epsilon/\epsilon_0 = 2$  и 80,  $E_0 = 110$  кВ/см.

- Результаты данного исследования могут быть полезны для оценки наименьшего исходного заряда необходимого для развития стримера внутри пузырька данного размера.
- В настоящей работе использовалась вычислительная платформа *nonPDPSIM*

# Предпробойные явления в пузырьках в воде и ТМ: ориентация цепочки пузырьков относительно приложенного поля

- Вертикальная цепочка пузырьков



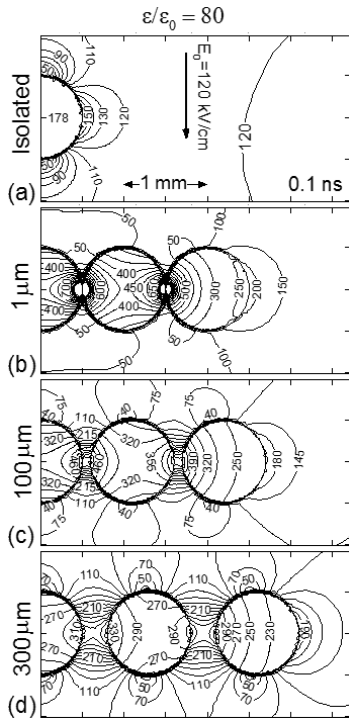
- Электрическое поле для изолированного пузырька и цепочки из трех вертикальных пузырьков в трансформаторном масле, разделенных слоем жидкости в 1, 100 and 300 мкм. Поле внутри пузырьков уменьшается и становится неоднородным.

- Перескакивание стримера из пузырька в пузырек (плотность электронов  $\text{cm}^{-3}$ ) в вертикальной цепочке.
- Для вертикальной цепочки возможность перескока стримера существенно зависит от расстояния между пузырьками ( $< 300 \text{ мкм}$ ).

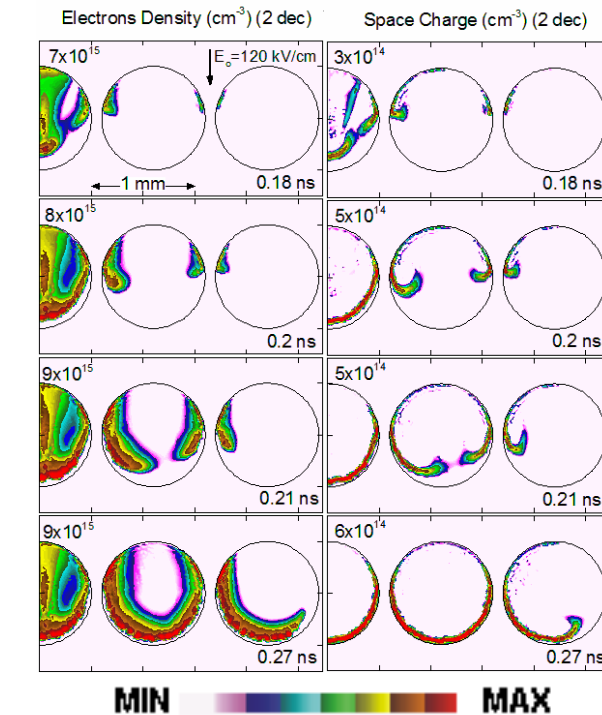
- Методом численного моделирования изучался механизм распространения стримера из пузырька в пузырек (минуя жидкую фазу).
- Исследовались вертикальные (вытянутые вдоль вектора электрического поля) и горизонтальные цепочки пузырьков (расположенные в поперечном направлении к полю).
- Цепочки пузырьков, наполненные влажным воздухом, погружались в трансформаторное масло ( $\epsilon/\epsilon_0 = 2$ ) и воду ( $\epsilon/\epsilon_0 = 80$ ).

# Предпробойные явления в пузырьках в воде и ТМ: ориентация цепочки пузырьков относительно приложенного поля (продолжение)

## Горизонтальная цепочка пузырьков



Электрическое поле для цепочки из трех горизонтальных пузырьков. Поле внутри пузырьков увеличивается

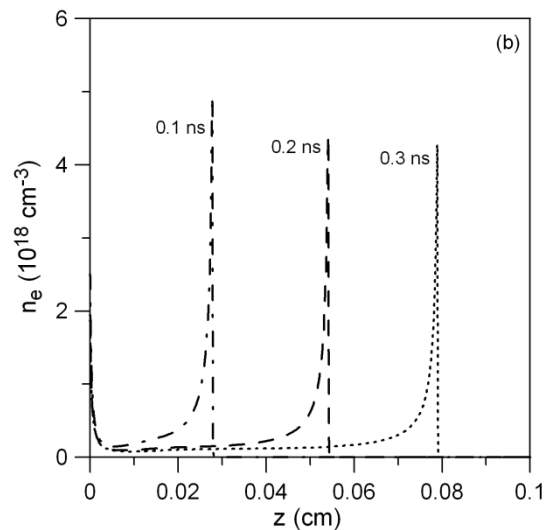
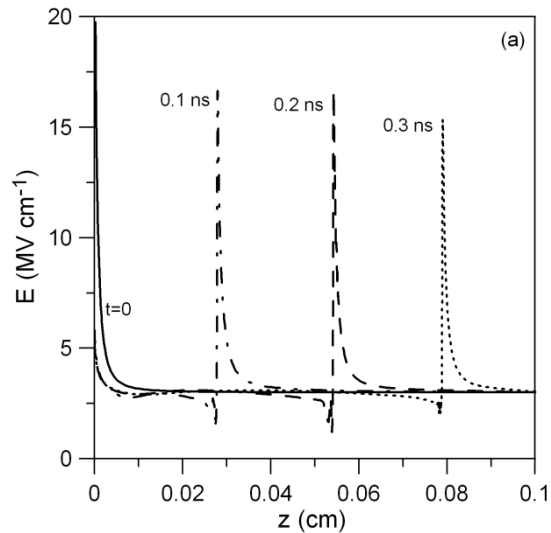


Эволюция плотности электронов ( $\text{cm}^{-3}$ ) и положительного пространственного заряда ( $\text{cm}^{-3}$ ) в горизонтальной цепочке пузырьков в воде. Пузырьки разделены слоем воды 100 мкм.

Для горизонтальной цепочки поляризационное усиление поля играет большую роль, чем влияние пространственного заряда соседнего стримера.

Эффект перескакивания стримера наблюдается на расстояниях больших 500 мкм.

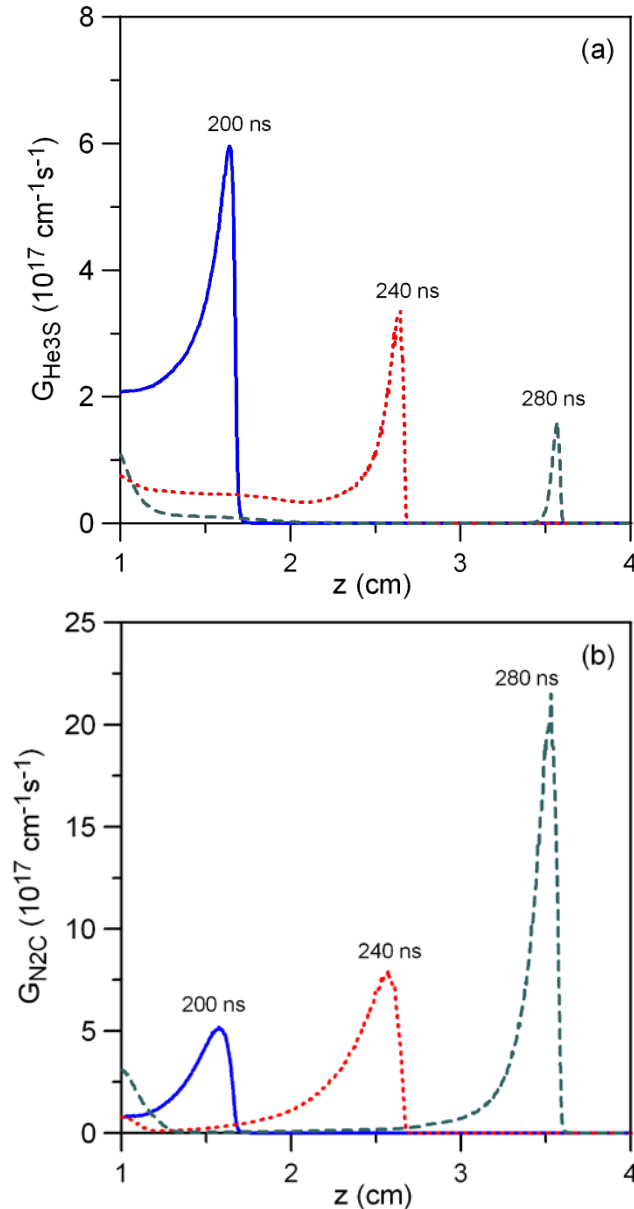
# Динамика субнаносекундных разрядов в жидкостях



Исследована динамика пробоя жидкостей в сильных электрических полях. Разработана двумерная (осесимметричная) модель, описывающая развитие субнаносекундных разрядов в диэлектрических жидкостях, происходящее без образования газовой фазы. Проведены расчеты распространения в межэлектродном промежутке быстрой волны ионизации - стримера в циклогексане.



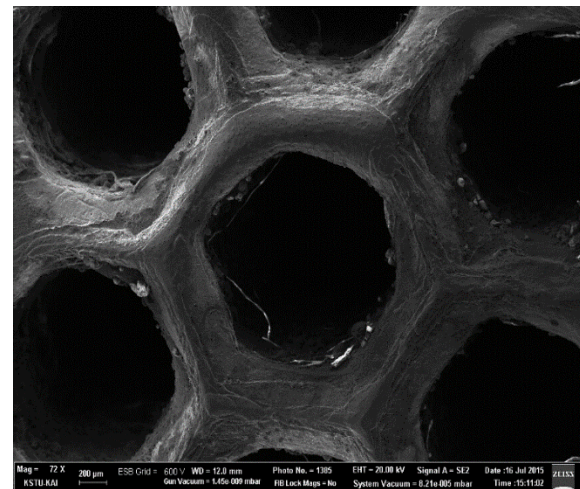
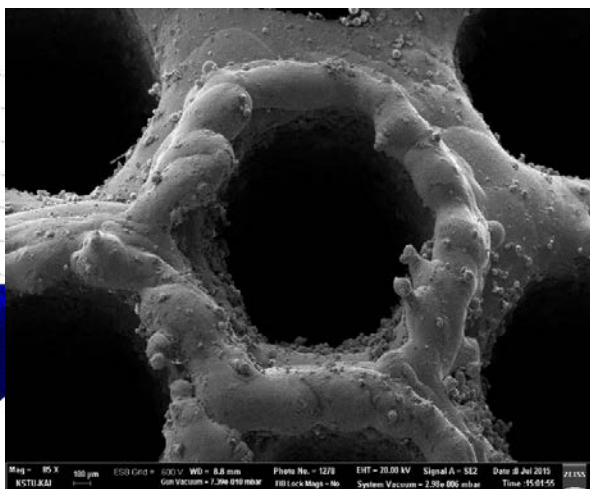
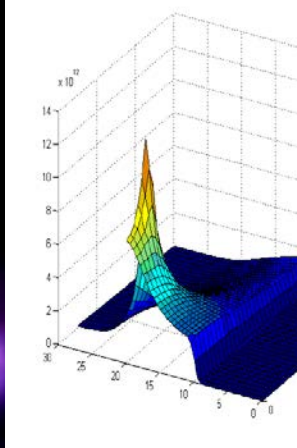
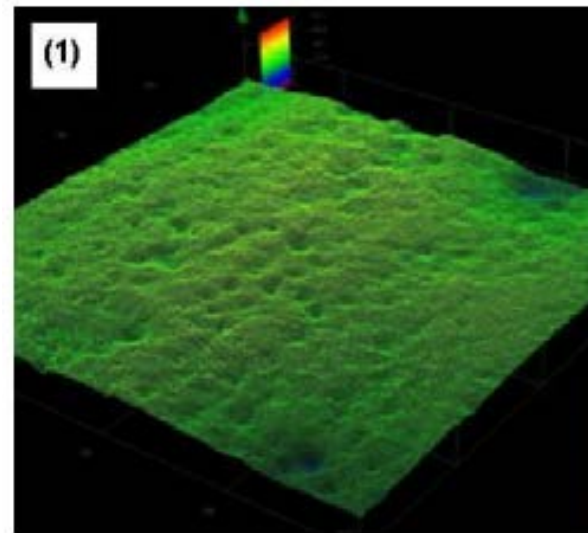
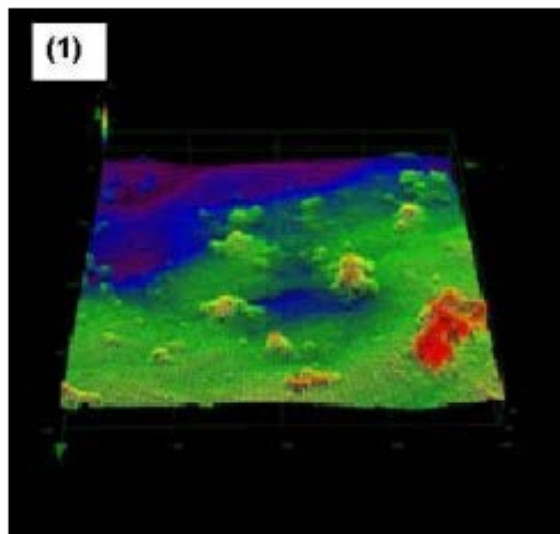
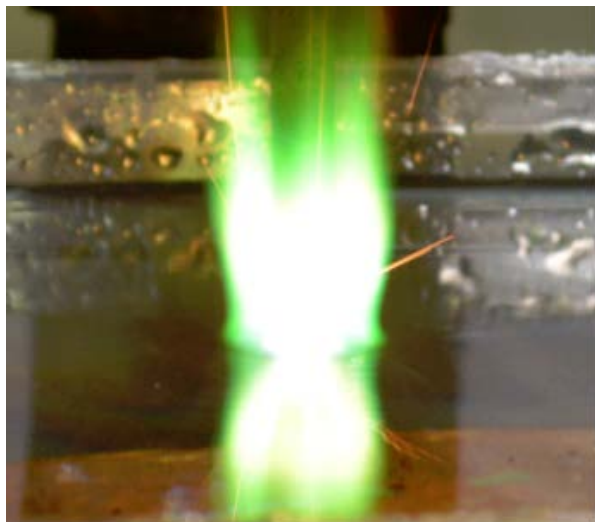
# Структура излучения холодных плазменных струй



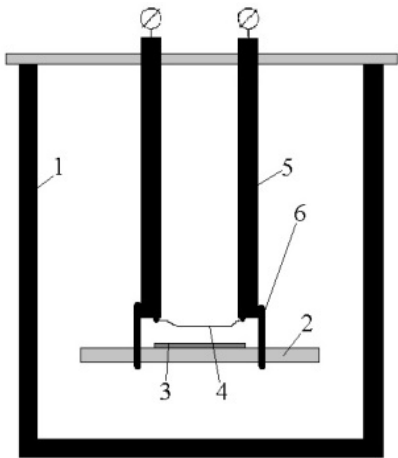
Исследованы представляющие интерес для диагностики пространственно-временные распределения интенсивности излучения холодных плазменных струй – генераторов неравновесной плазмы для биомедицинских приложений. Рассчитаны радиационные потоки, излучаемые возбужденными состояниями компонентов (атомов гелия и молекул азота) плазменной струи гелия, истекающей в окружающий воздух.

# СВЧ разряд с жидкими электродами и применение в аддитивных технологиях

(Сон К.Э., Гайсин А.Ф. КАИ) (Фонд содействия отеч.науке)



# Разработка метода получения металлических кластеров в импульсном дуговом разряде



Взрывная камера

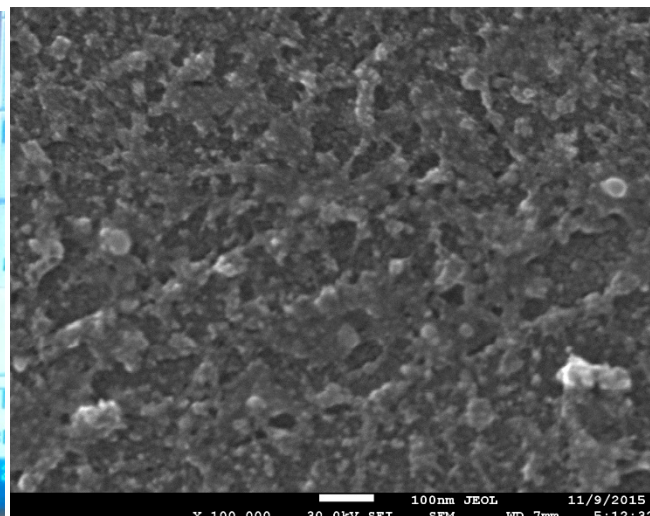


Электроды с проволокой после испытания

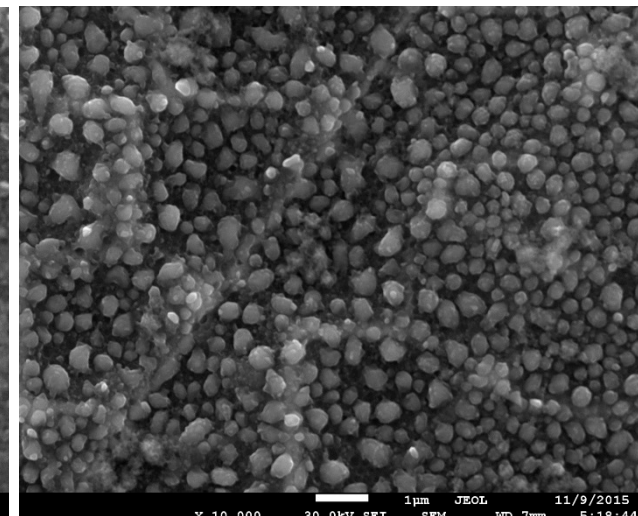
Схема установки



ВАХ импульсного дугового разряда

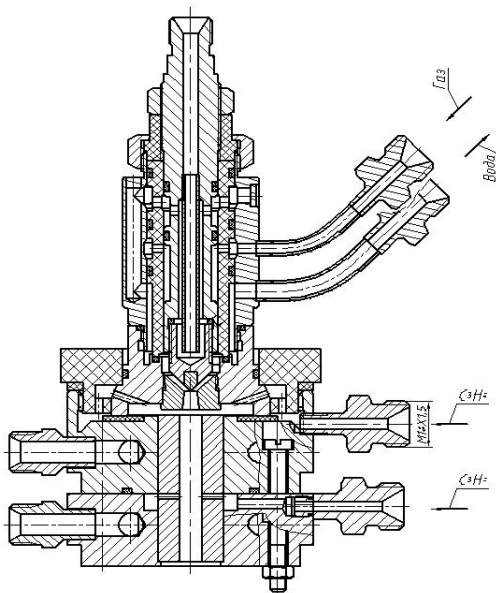


Разрушенные кластеры



Кластеры

# Генератор низкотемпературной плазмы на смеси азота и пропана

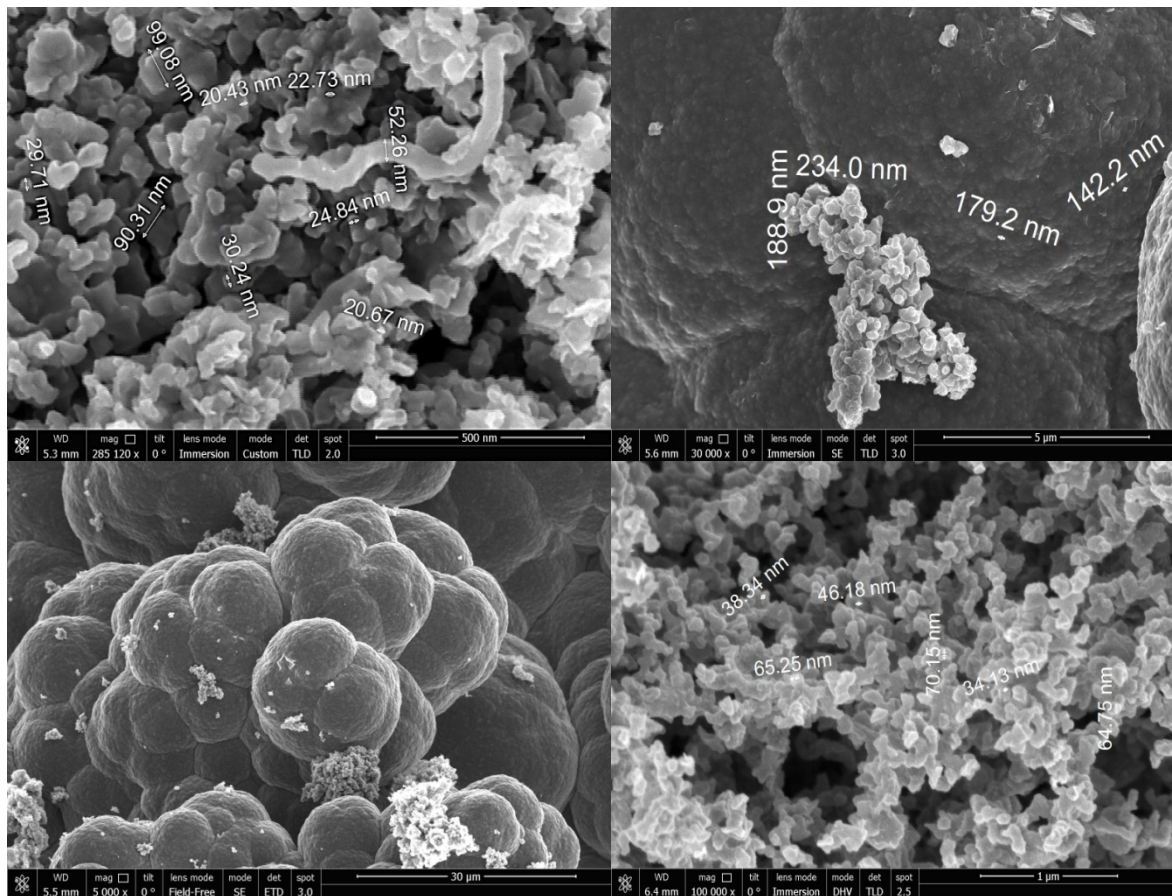


**КОНСТРУКЦИЯ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ПЛАЗМОТРОНА**



**ОСАЖДЕНИЕ САЖИ**

Место ввода пропана	I, A	U, B	F, г/с азот	F, г/с пропан
через отверстия в аноде длиной 60 мм (после привязки дуги)	100	60	0.16	0.33
через зазор сопло-анод	100	70	0.22	0.33
через зазор сопло-анод с анодом длиной 30 мм	100	70	0.22	0.33



**СТРУКТУРА САЖИ**

# Плазмоструйный синтез углеродных наноматериалов для применения в области чистой энергетики

Нанотехнологии являются одним из наиболее динамично развивающихся сегментов мирового рынка инновационных материалов.

Согласно оценкам отраслевых экспертов и аналитиков компании Abercade, основными перспективными сферами применения нанотехнологий являются автомобильная промышленность, доля которой в структуре потребления нанопродуктов в ближайшее время составит порядка 25%, а также здравоохранение (22%) и аэрокосмические технологии (порядка 17%).

Однако особые надежды специалисты связывают с массовым использованием нанопродуктов в сфере энергетики. Ожидается, что уже в ближайшей перспективе на энергетику будет приходиться порядка 13% мирового потребления нанопродуктов, а в обозримом будущем разработки в сфере нанотехнологий помогут совершить революционный скачок в развитии технологий получения и преобразования энергии.

Основными видами нанопродуктов, которые в ближайшей перспективе найдут широкое применение для изготовления наноконденсаторов, будут являться углеродные нанотрубки и графены.

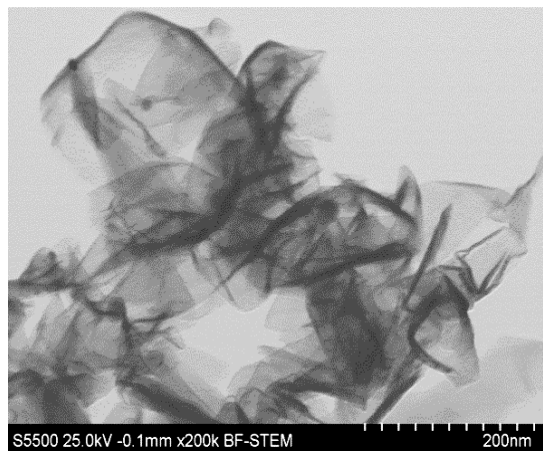


С помощью струи гелиевой или аргонной плазмы, генерируемой плазмотроном постоянного тока мощностью до 40 кВт, получены углеродные нанотрубки и графены, отличающиеся низкой дефектностью и высокой гидрофобностью. Такие свойства позволяют использовать данные материалы в качестве носителей катализаторов для газодиффузионных электродов топливных элементов и металовоздушных источников тока. Кроме того, высокая электропроводность наноматериалов позволяет рассматривать их как перспективные проводящие добавки для электродов в неводных электролитах.

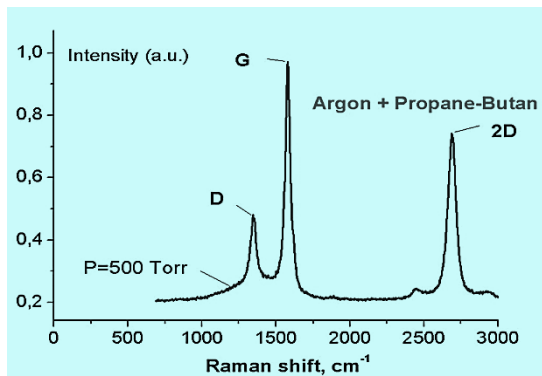
(Отд. №4.2 НИЦ-4 ОИВТ РАН, зам. зав. отд., к.т.н. М.Б. Шавелкина, д.ф.-м.н. Р.Х. Амиров)

# Плазмоструйный синтез углеродных наноматериалов для применения в области чистой энергетики

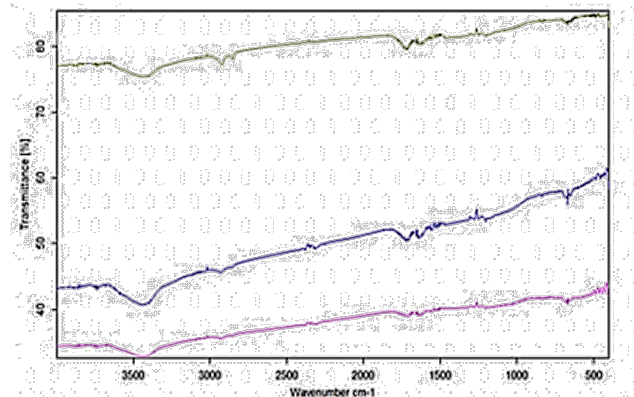
## Структурные характеристики графена



Просвечивающая электронная микроскопия графена

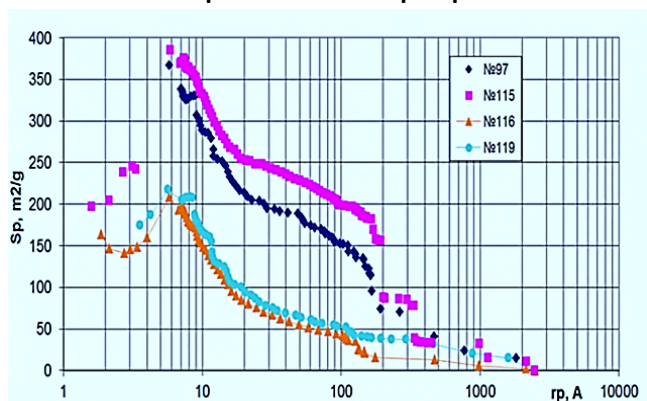


Раман-спектр графена

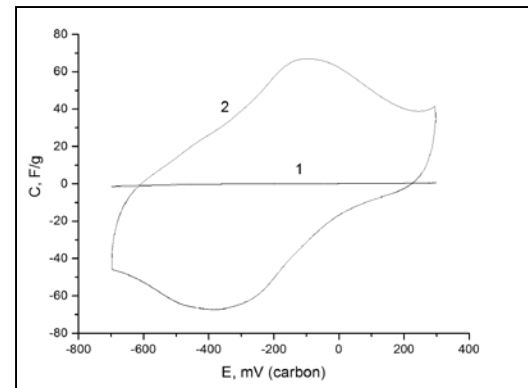
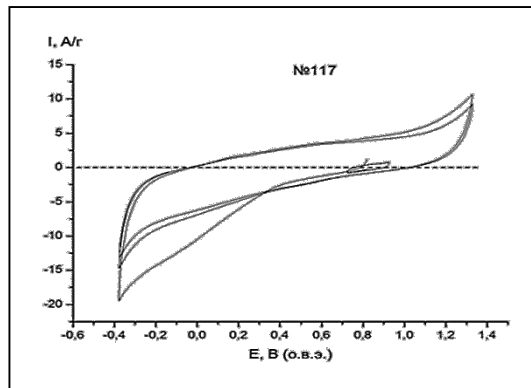


ИК-спектр графена

## Электрохимические характеристики графена



Удельная поверхность графена (97) и нанотрубок (115,116,119)



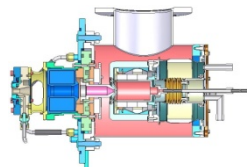
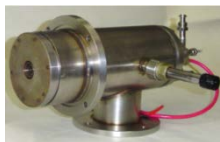
Вольтаграммы графена в 0.5 М растворе  $H_2SO_4$  полученные при скорости развертки потенциала 20 мВ/с для: 1 – исходного ; 2 – окисленного.

# Неравновесная, холодная плазма в сверхзвуковом потоке, инициируемая электронным пучком (Сон Э.Е., Шарафутдинов Р.Г.)

Газоструйный плазмохимический метод GJ EBP

## Холодный плазмотрон

расход сырья  
~ 1 м<sup>3</sup>/час



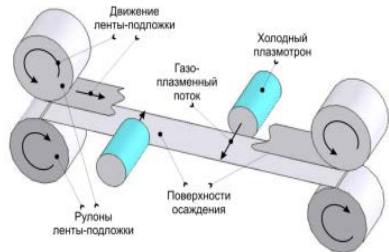
расход сырья  
~ 1000 м<sup>3</sup>/час

Осаждение слоев и обработка поверхностей

1. Тонкопленочные солнечные модули на гибких подложках

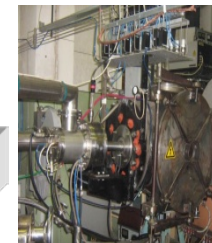
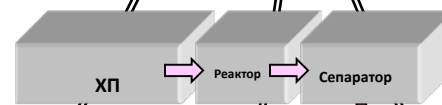
2. Плазменная эпитаксия

3. Прозрачные проводящие покрытия ZnO:Al



4. Композитные углеродные аноды для литий-ионных аккумуляторов

Плазменная газохимия



1. Конверсия тетрахлорида кремния в трихлорсилан

3. Поликристаллический кремний для СЭ

2. Конверсия попутного и природного газа в жидкие углеводороды

Разработаны установки и технологии

# Газоструйный плазмохимический метод

перпендикулярная геометрия в лабораторном варианте

## Основы газоструйного плазмохимического метода:

1. Для активации молекул газа используется **пучок электронов**, формируемый электронной пушкой. Энергия электронов практически полностью поглощается газовым потоком.
2. Быстрый конвективный перенос активных частиц из зоны активации в зону реакций с помощью **газовой струи** позволяет управлять технологическим процессом и контролировать его.

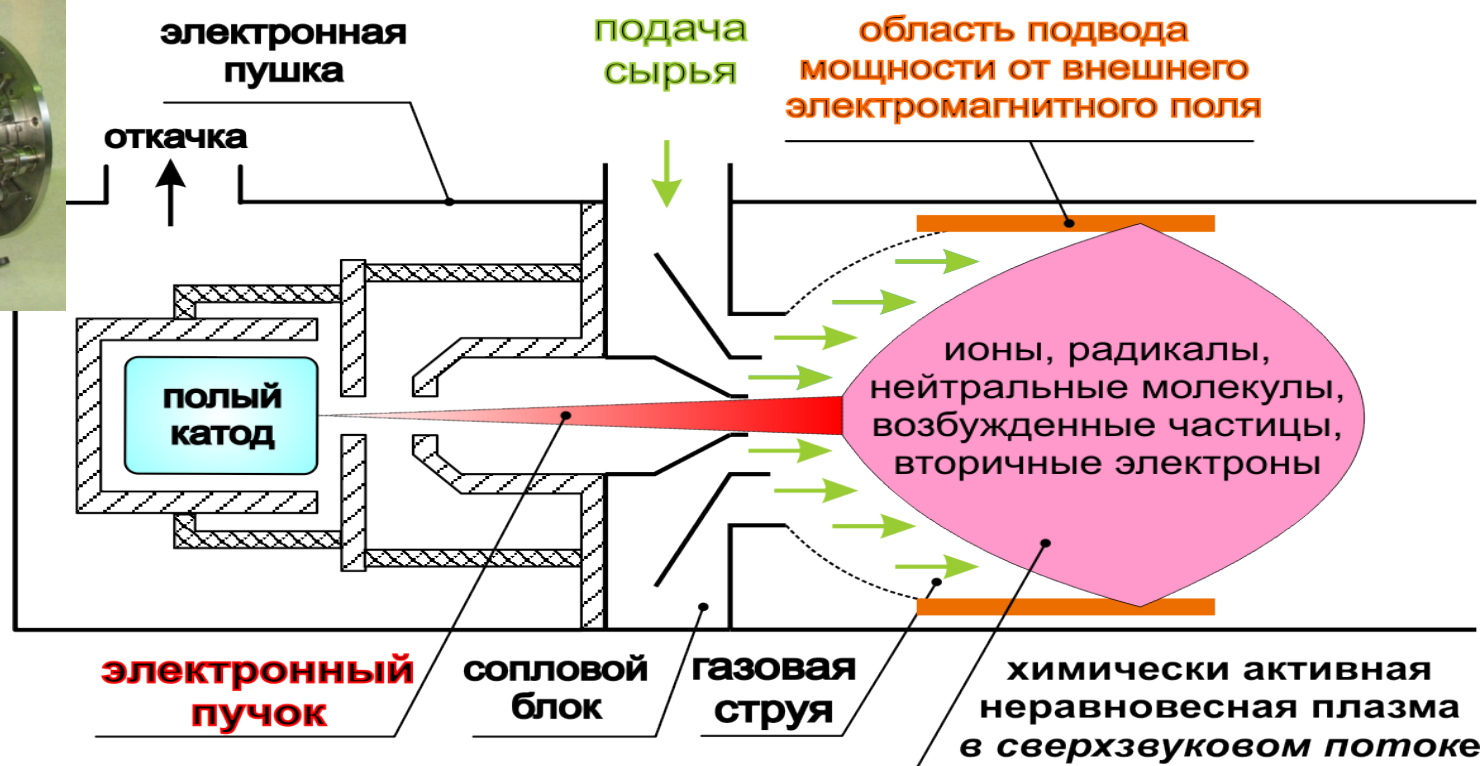


Основные принципы метода защищены российским и международными патентами.



# Газоструйный плазмохимический метод

в коаксиальной геометрии для промышленного применения

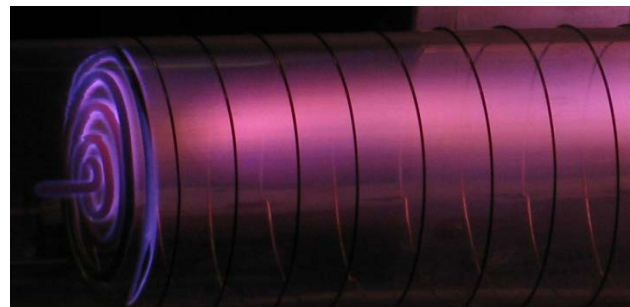
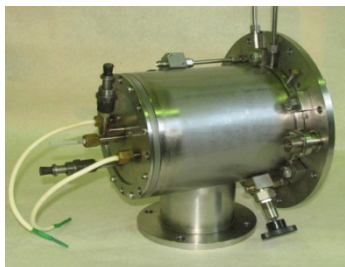


Особенности коаксиальной геометрии в сравнении с перпендикулярной геометрией:

1. Более полное поглощение электронов, как первичного пучка, так и вторичных;
2. Воспроизводимость процесса;
3. Компактирование оборудования.



# Базовые элементы метода и их характеристики



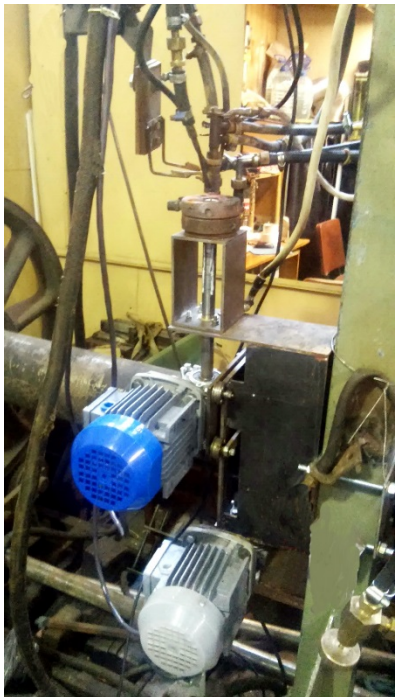
Оригинальная разработка

Адаптируется для конкретного применения

Электронная пушка	Сопловой блок	Внешнее э/м поле
Генерация электронных пучков с энергиями от 0,5 до 30 кэВ и токами от 50 до 500 мА с токопрохождением близким к 100%	Подача сырья в процесс в виде сверхзвуковой струи	Снижение удельных энергозатрат
Ресурс в разы выше, чем у термокатодных пушек	Широкий диапазон расходов подачи сырья – от 1 до 1000 м <sup>3</sup> /час	Управление составом и структурой продуктов реакции
Форвакуумный рабочий диапазон давлений в области генерации электронного пучка	Возможно подавать газ или жидкость в виде пара	Контролируемое изменение зоны реакций
Высокая эффективность эмиссии тока	Защита зоны реакции от внешней среды	
	Выполняет функцию газового затвора	

# Упрочнение стали при плазменно-дуговом переплаве в среде азота

Результаты исследований структуры и свойств стали при плазменном упрочнении



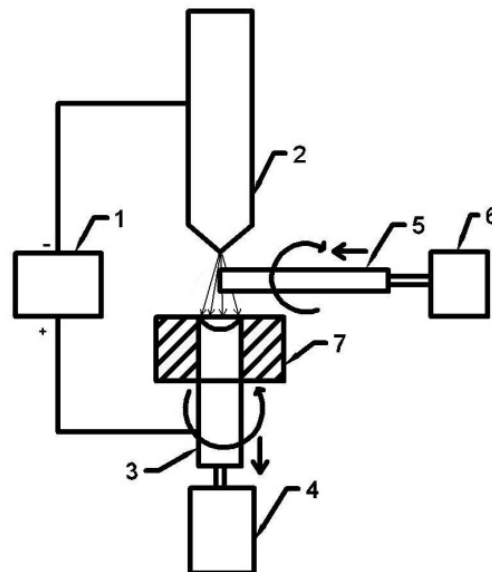
Марка стали	Расчетная концентрация азота при легировании азотом из газовой фазы [N],%	Расчетная концентрация азота при плазменно-дуговом переплаве (ПДП) [N],%
10X8HМВАФБ	0,125	0,280

Параметры процесса:  
 $F_{N_2} = 0,3 \text{ г/с}$ ,  $N = 13 \text{ кВт}$ ,  $I = 130 \text{ А}$ ,  
 $U = 100 \text{ В}$



[N]=0,190%

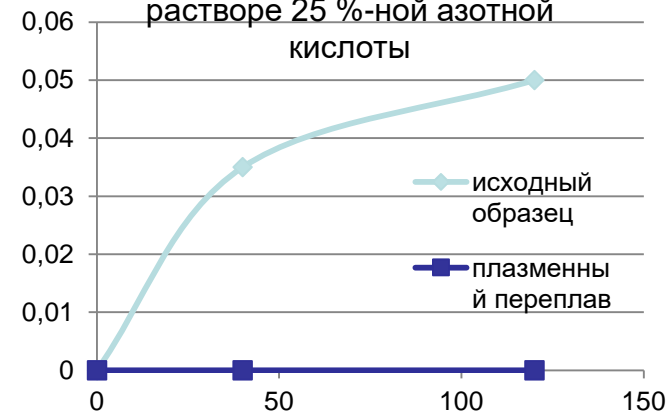
Вид образца ([N],%)	Исходный образец (0,0007)	Образец после ПДП (плазмообразующий газ азот) (0,190)
HRC	37,6	48,9



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПДП

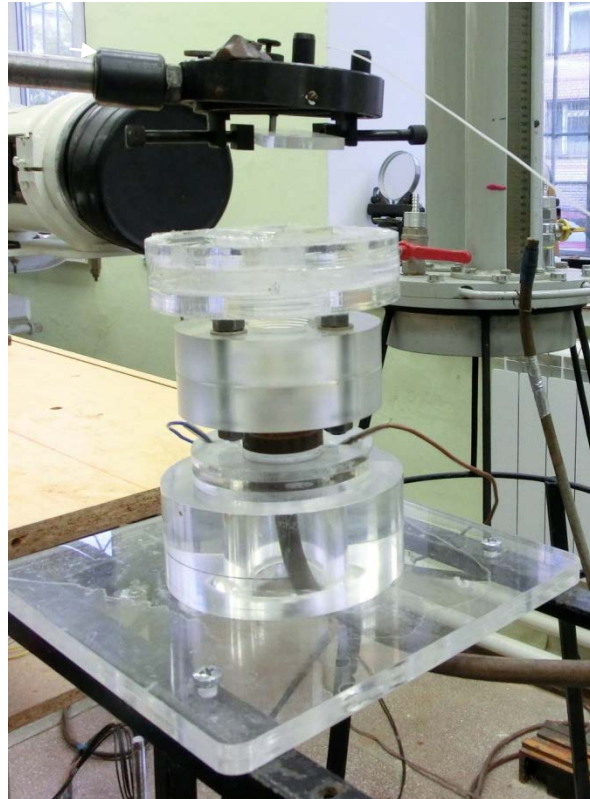
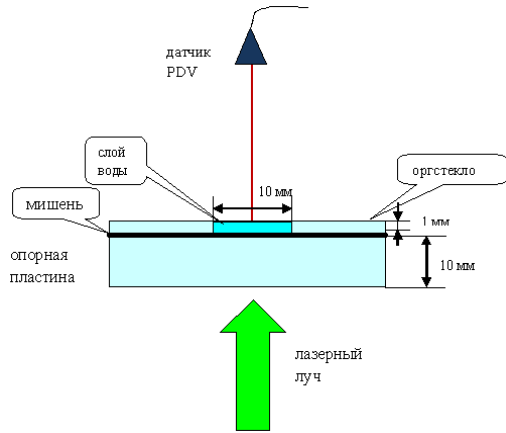
1-источник питания; 2-плазматрон; 3-слиток после переплава; 4-механизм для протяжки слитка; 5- заготовка; 6- механизм для подачи заготовки; 7-медный кристаллизатор .

Зависимость относительной потери массы образцов в водном растворе 25 %-ной азотной кислоты

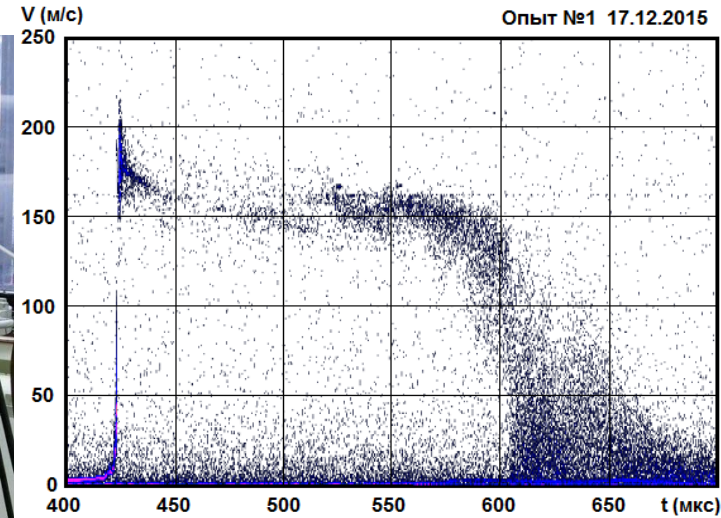


# **Гидродинамические неустойчивости и турбулентность**

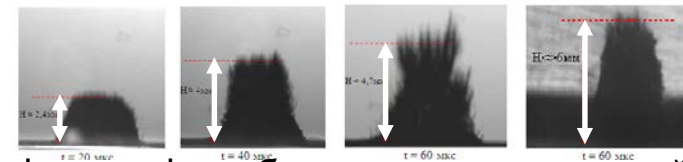
# Неустойчивости свободной границы слоя жидкости при выходе нестационарной ударной волны с применением лазерно-оптических методов регистрации



Общий вид поршневой ударной трубы

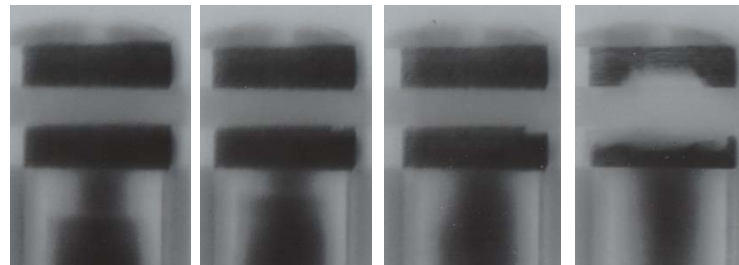


Развертка с регистрацией движения жидко-капельного облака методом PDV



Фотография облака диспергированной воды при выходе волны Тейлора на свободную поверхность слоя воды

Общий вид установки на основе мощного импульса лазерного излучения



Кадры фотохронограммы полета ударника

# Устойчивость и турбулентность термовязкой жидкости (Сон Э.Е., Куликов Ю.М.)

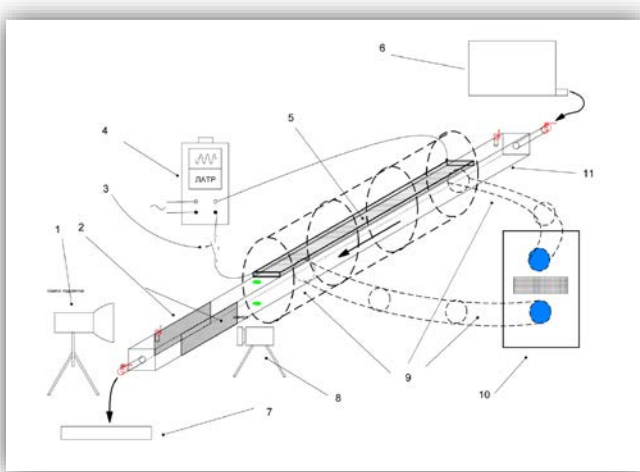
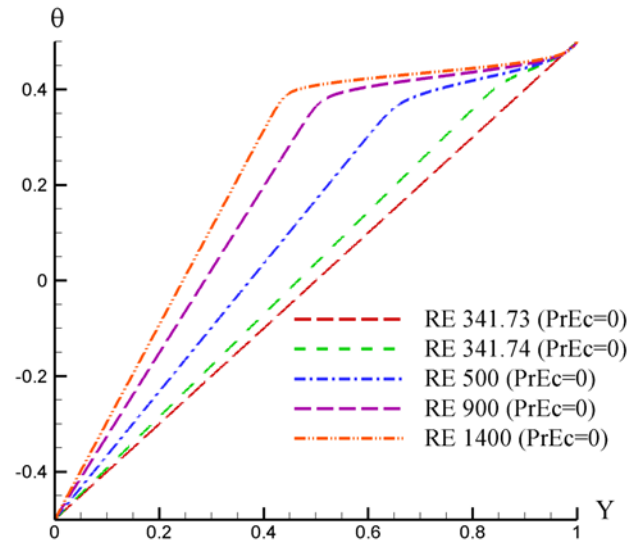
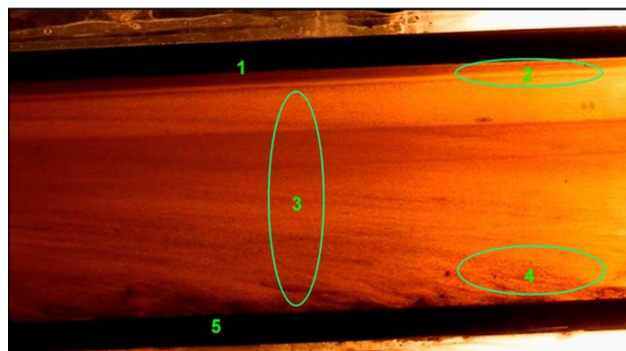


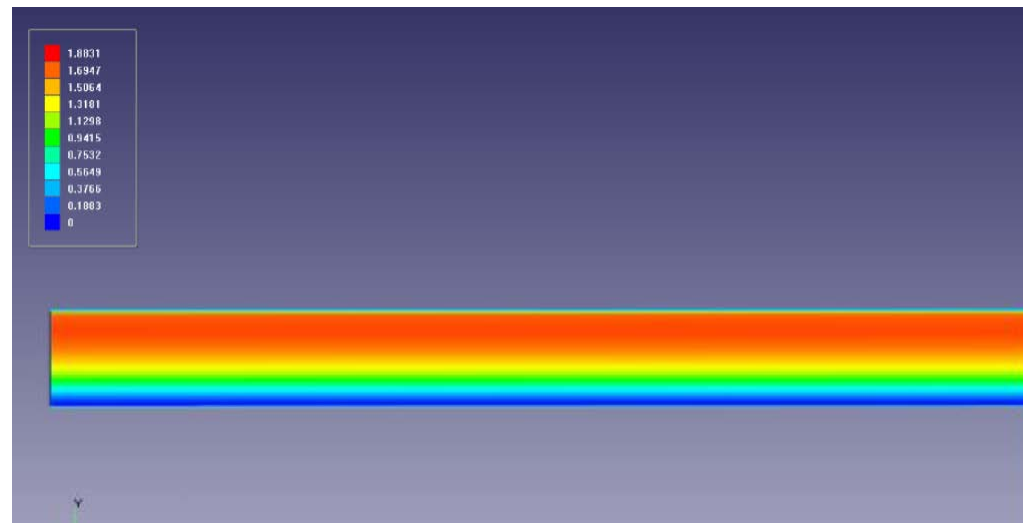
Схема установки



## Экспериментальный стенд по ТВЖ



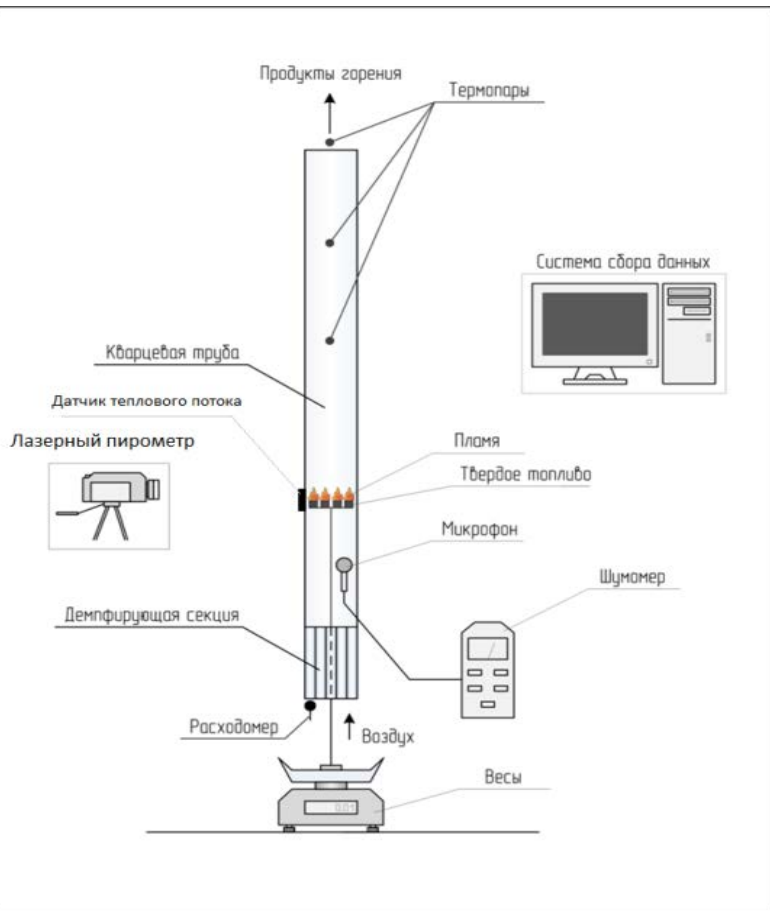
Поле течения ТВЖ



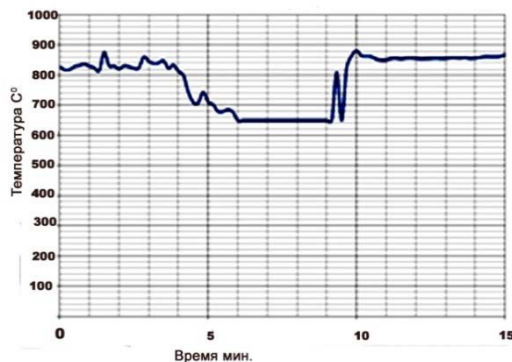
Вверху – горячая стенка, вязкость мала, течение турбулентное,  
внизу – стенка холодная, вязкость большая, течение ламинарное

**Фундаментальные и  
прикладные проблемы  
горения**

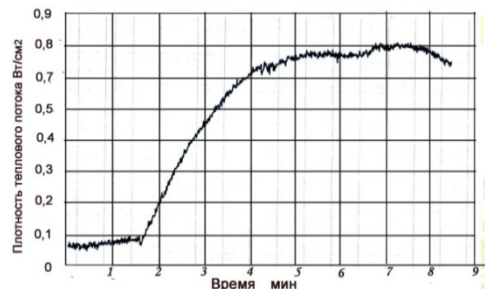
# Исследование вибрационного горения



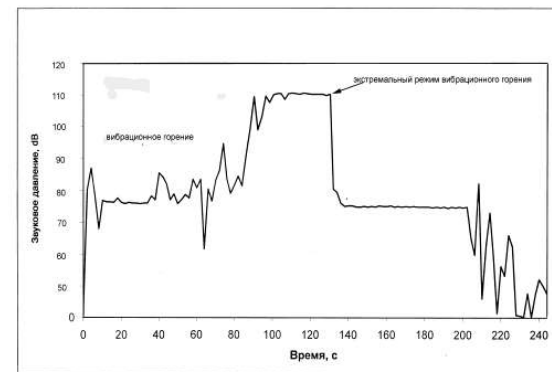
«Труба Рийке»



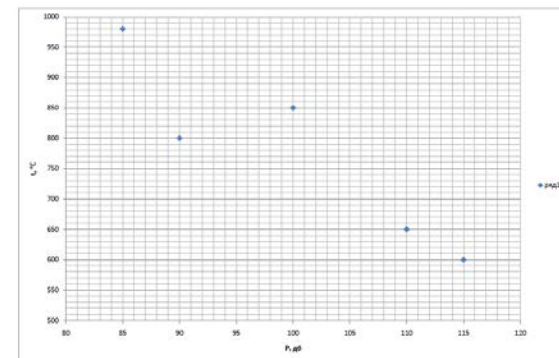
Зависимость температуры пламени от времени при различных режимах горения, "Труба-Рийке". Вибрационное горение наблюдалось в диапазоне времени 4–9 мин



Тепловой поток



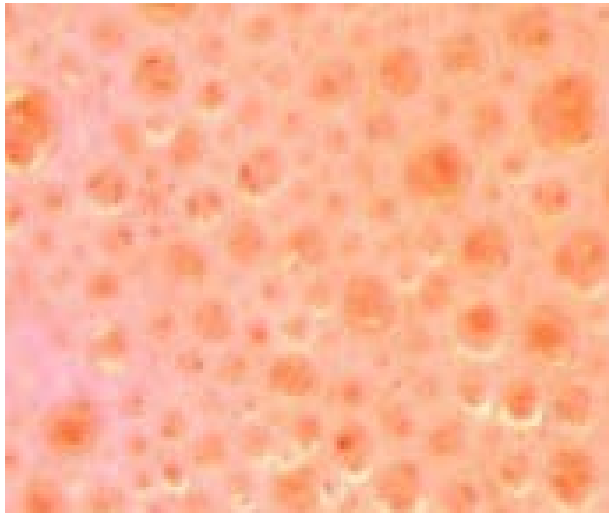
Экспериментальная зависимость звукового давления от времени при вибрационном горении пеллет



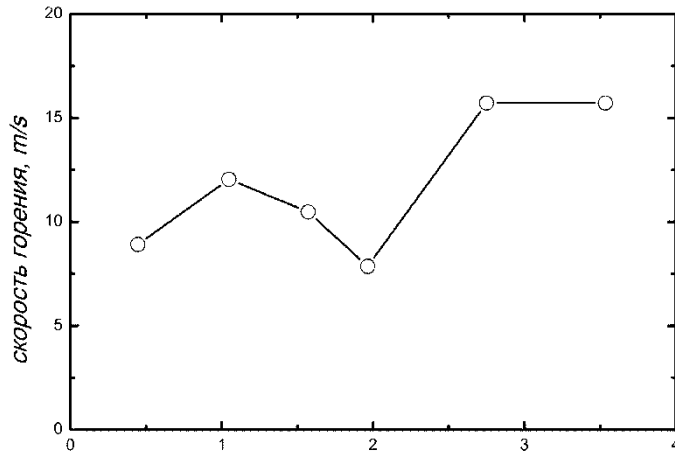
Зависимость температуры пламени от мощности звукового излучения



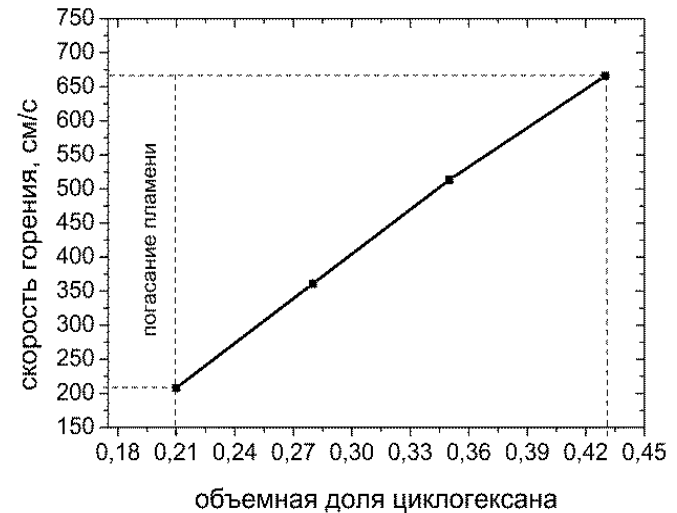
# Горение пен и пузырьковых сред



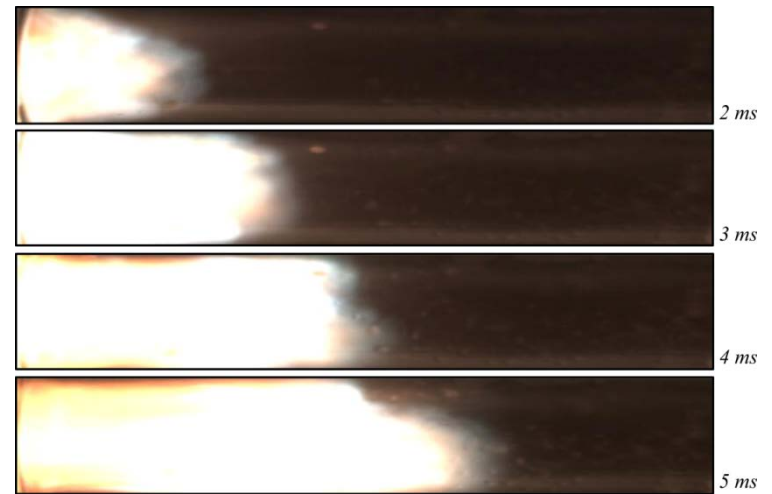
Структура пены: циклогексан – 21 об.%; вода – 43 об.%.  $D=50-90$  мкм.



Скорость горения газовой смеси (Толуол+Вода) по длине трубки. Общая средняя скорость горения 11,8 м/с.

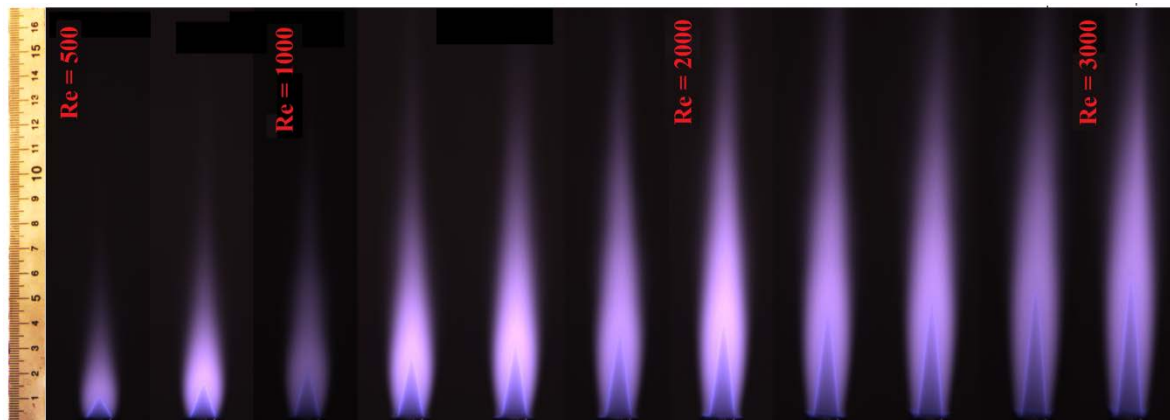
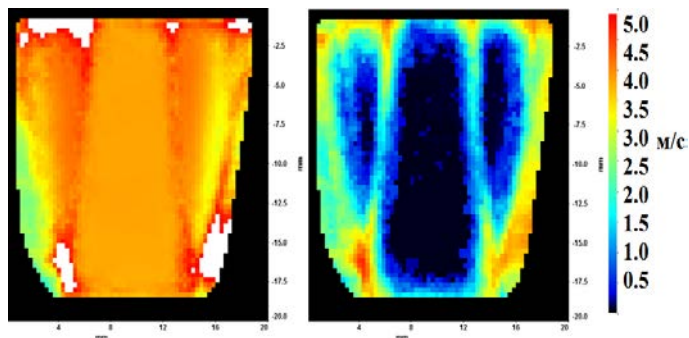
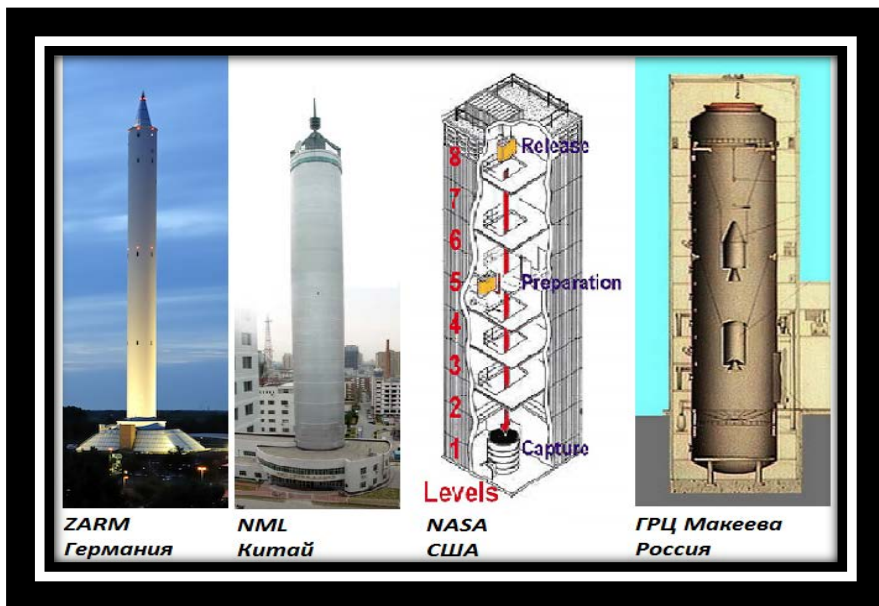


Зависимость скорости горения пены от объемной доли циклогексана

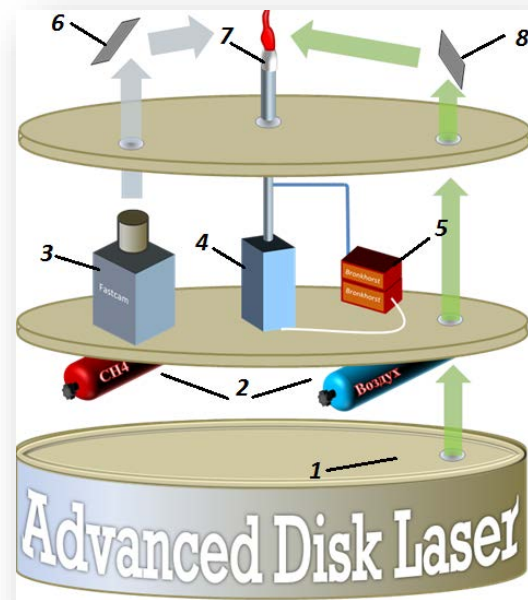


Последовательность фотографий горения газовой смеси (Толуол+Вода) по длине трубки. Общая средняя скорость горения 49,4 м/с.

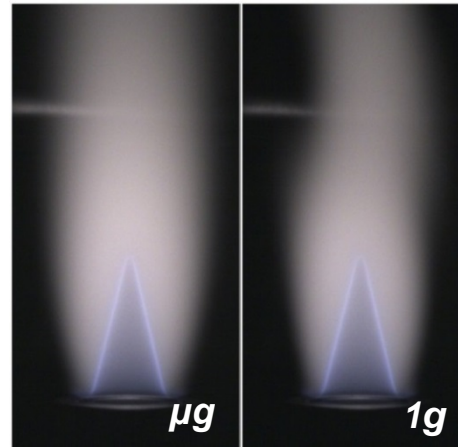
# Эксперименты по горению перемешанного топлива в микрогравитации Fall Tower - Bremen, DLR, DAAD Сон Э.Е., Крикунова А.И.



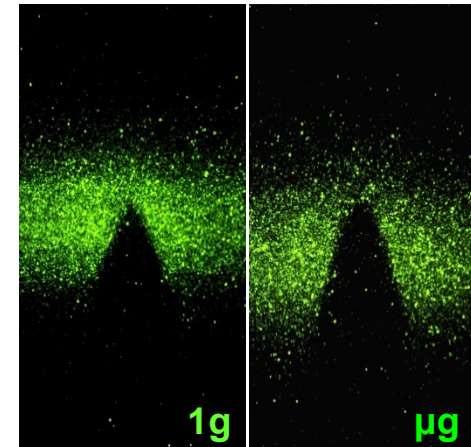
# Исследование метано-воздушного пламени в условиях микрогравитации



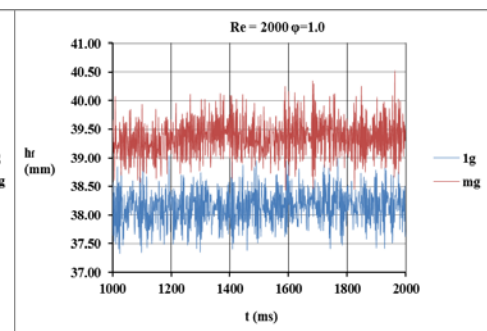
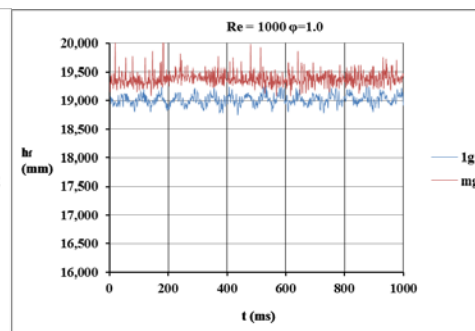
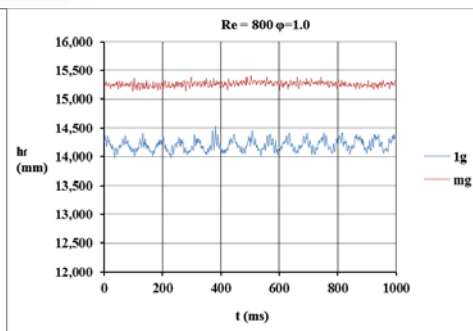
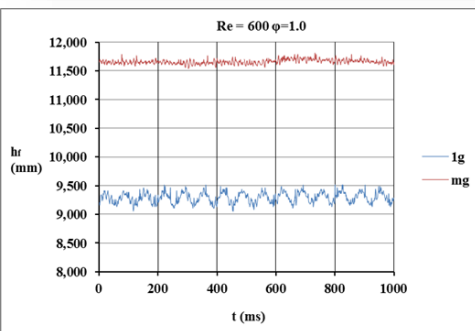
1. Лазер;
2. Баллоны с горючим и окислителем;
3. Камера;
4. Устройство засева потока частицами;
5. Расходомеры;
6. & 8. Поворотные зеркала;
7. Сопло горелки;



$\phi = 1,0 \text{ Re}_{\text{ВЫХ}} = 1000$



OH PLIF  $\text{Re}_{\text{ВЫХ}} = 1400 \phi = 1,1$



Пульсации высоты пламени в 1g и  $\mu\text{g}$   $\phi = 1,0$

# Исследование турбулентной струи для горения при микрогравитации

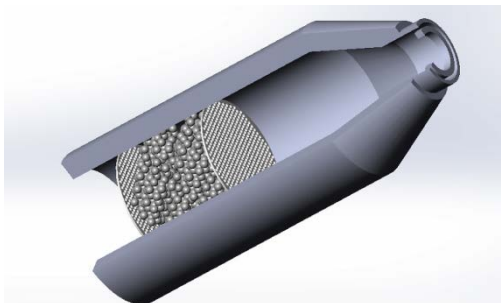
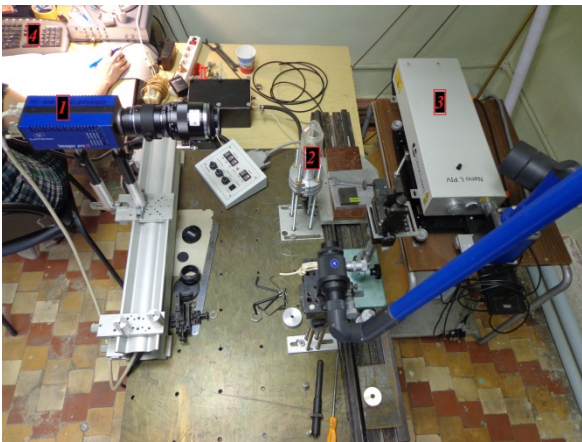
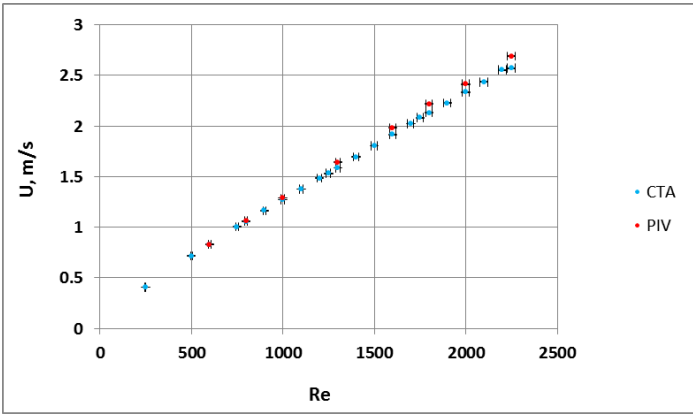


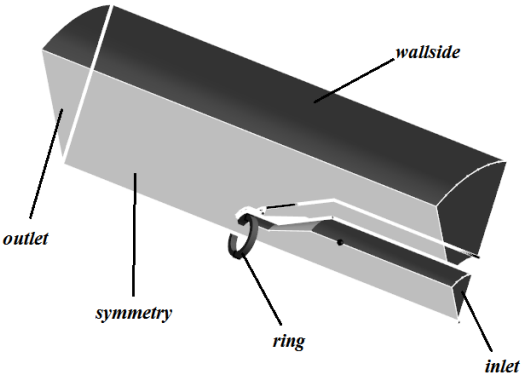
Схема сопла



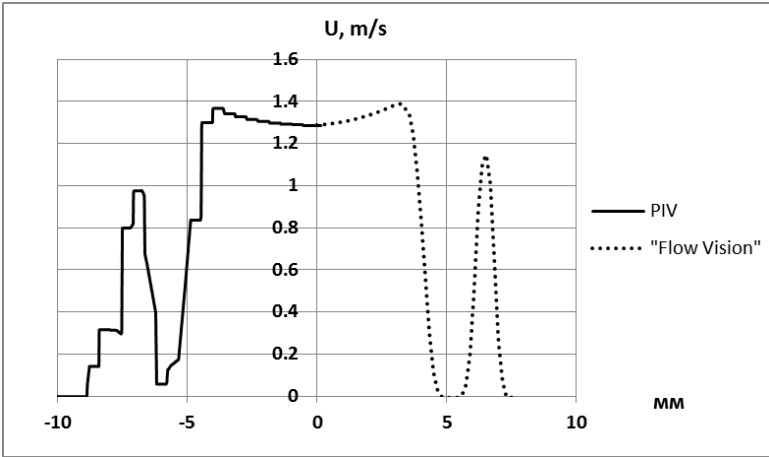
Экспериментальная установка



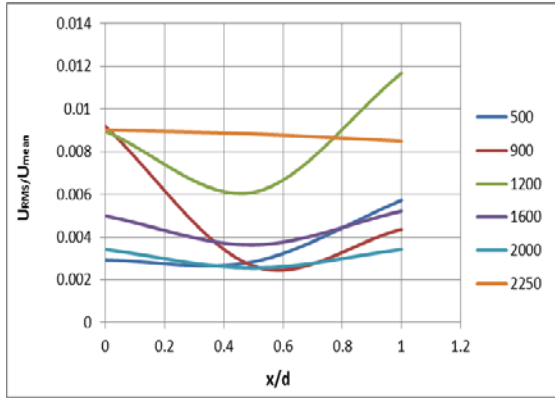
Сравнение PIV и HWA



Расчетная сетка (FlowVision)



Сравнение эксперимента и расчета



Пульсации скорости в зависимости от числа Рейнольдса

# **Гиперзвуковые технологии**

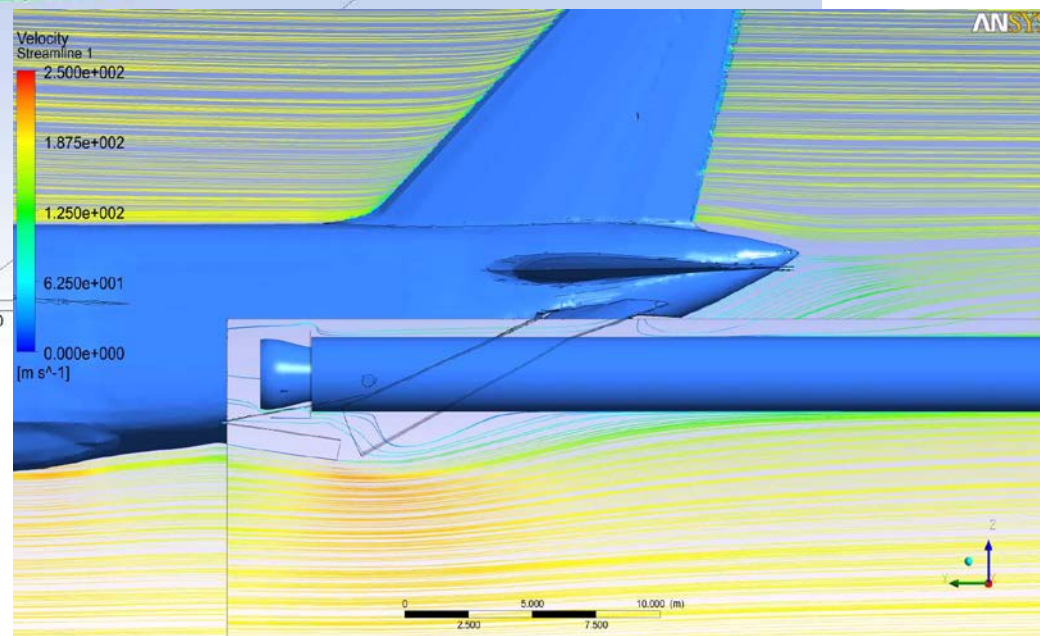
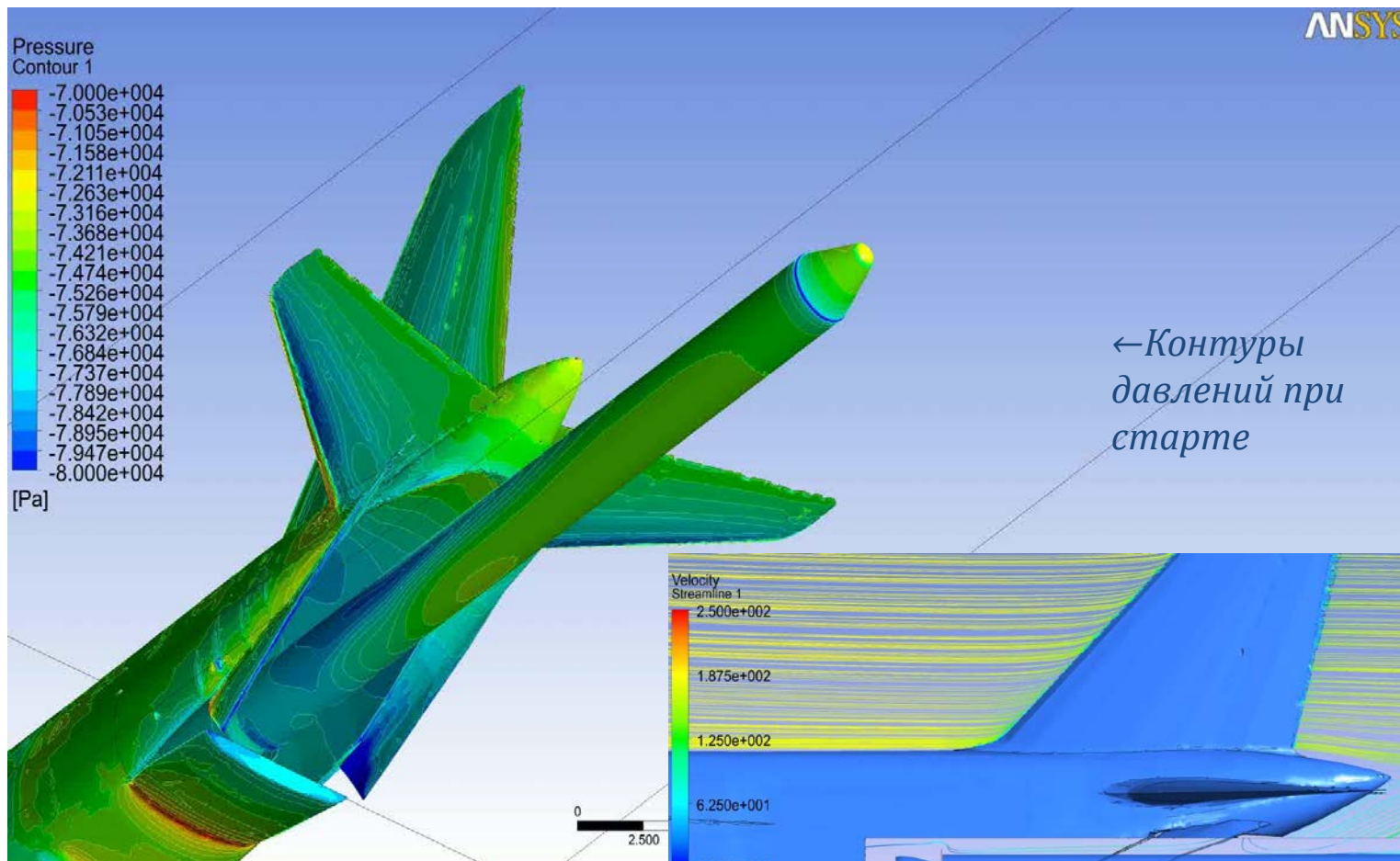
**(Госконтракт Минобр ОИВТ**

**Индустриальные партнеры:**

**ГРЦ им.Макеева, ЦИАМ )**

# Демонстратор ГЛА ОИВТ – ГРЦ им. Макеева

## Воздушный старт с самолета

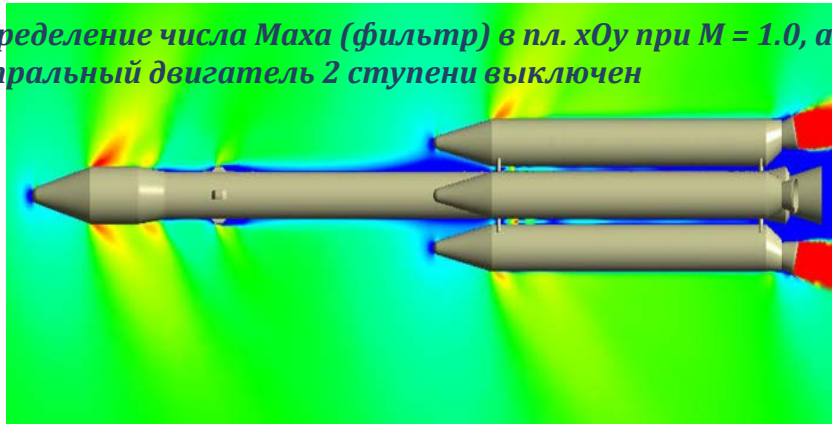


Линии течения в хвостовой области →

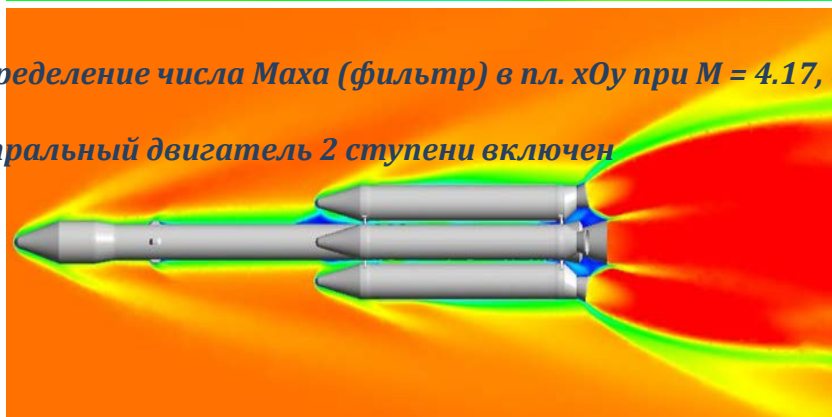
# Примеры использования математических имитационных моделей:

## Расчет АДХ в полете и картины течения (ANSYS CFX)

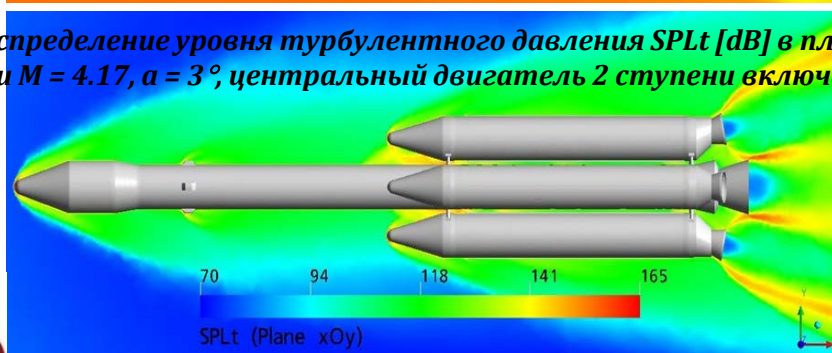
Распределение числа Маха (фильтр) в пл.  $xOy$  при  $M = 1.0$ ,  $\alpha = 0^\circ$ , центральный двигатель 2 ступени выключен



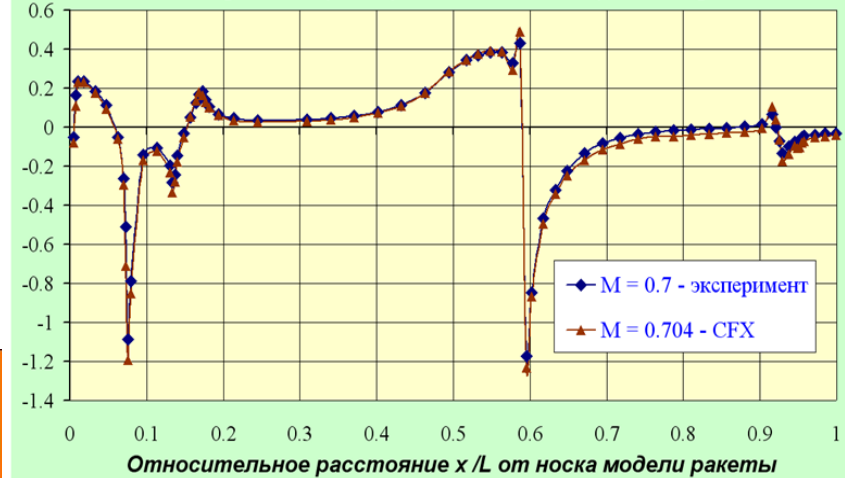
Распределение числа Маха (фильтр) в пл.  $xOy$  при  $M = 4.17$ ,  $\alpha = 3^\circ$ , центральный двигатель 2 ступени включен



Распределение уровня турбулентного давления SPLt [dB] в пл.  $xOy$  при  $M = 4.17$ ,  $\alpha = 3^\circ$ , центральный двигатель 2 ступени включен



Расчетные и экспериментальные распределения  $C_p$  по центральному телу в плоскости  $xOy$  ( $\alpha=0$  град.)



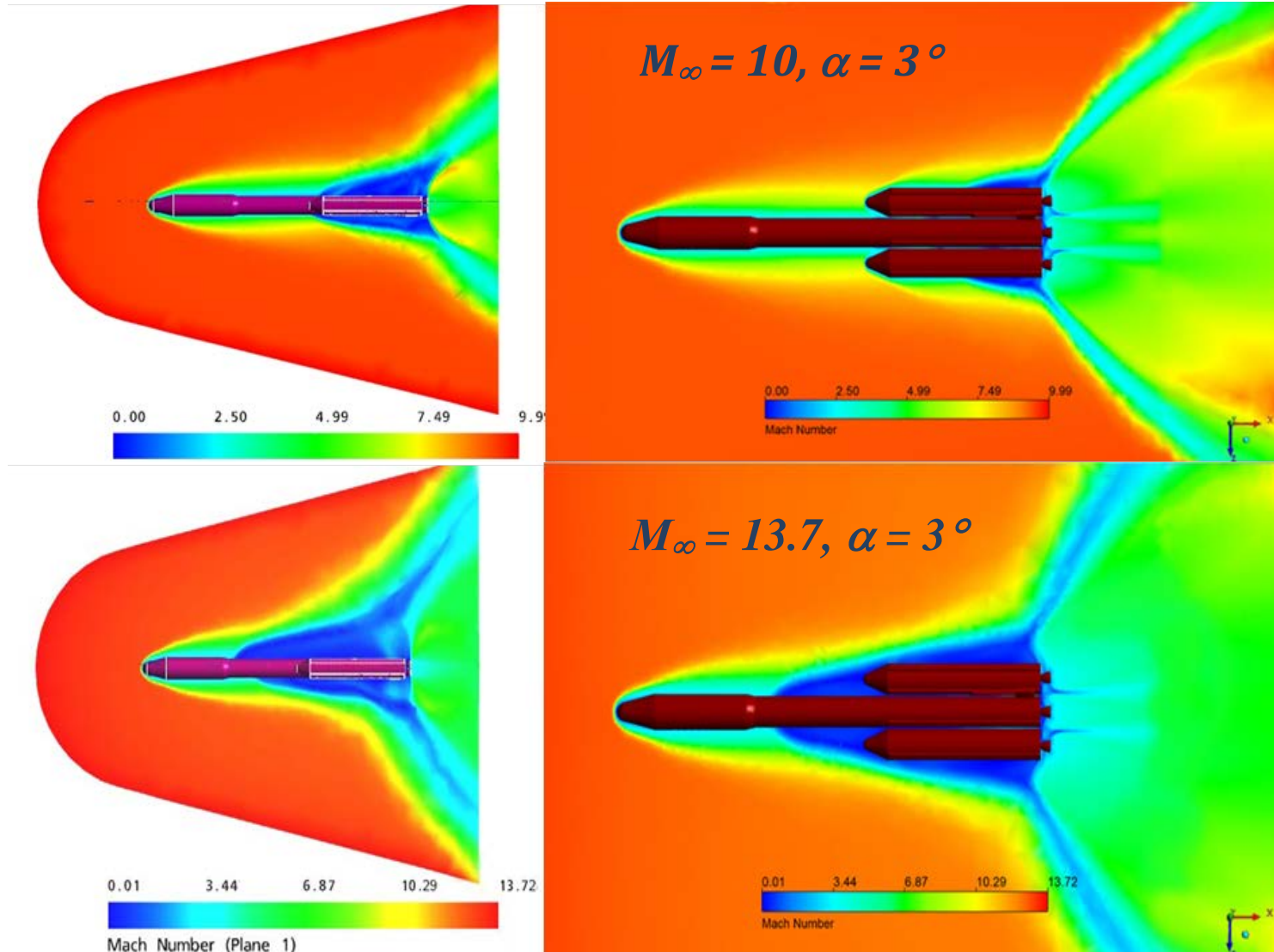
Расчетные и экспериментальные распределения  $C_p$  по центральному телу в плоскости  $xOy$  ( $\alpha=0$  град.)



# Примеры использования математических имитационных моделей:

*Развитие зоны отрыва на больших высотах при гиперзвуковом обтекании*

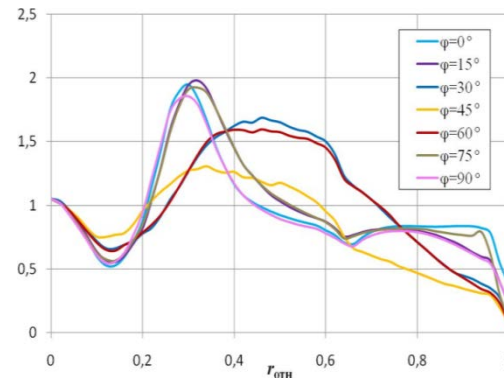
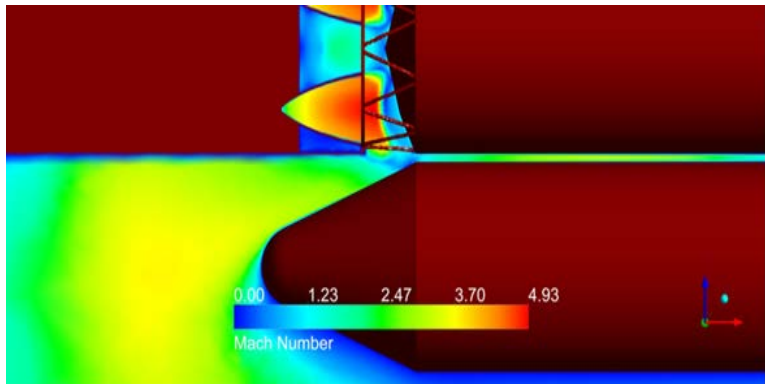
*Поля чисел Маха*





# Примеры использования математических имитационных моделей:

## «Горячее» разделение ступеней

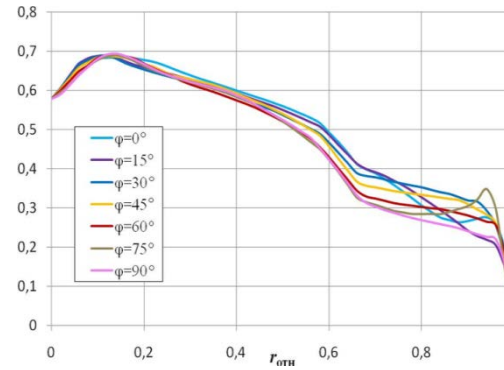
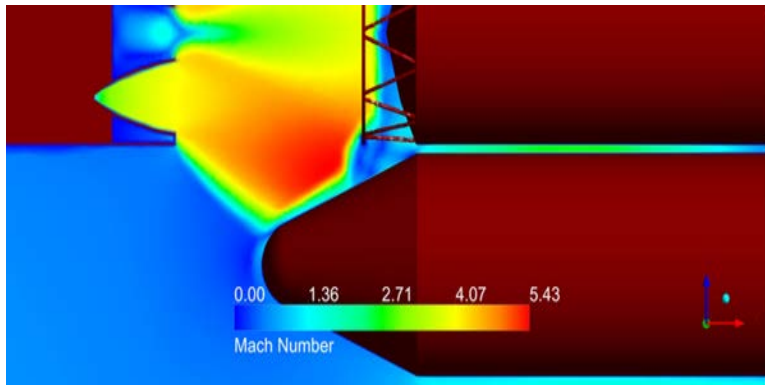


$$S_{OTN} = 0 \text{ M}$$

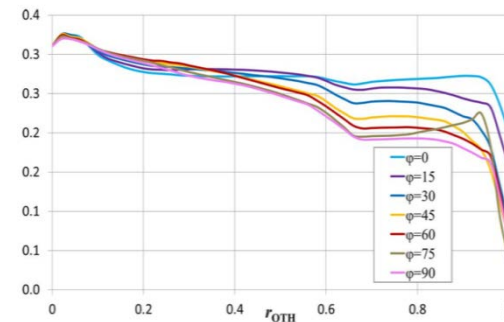
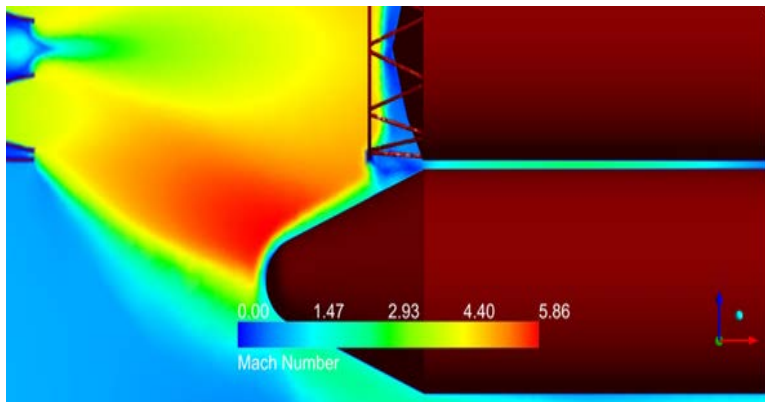
Распределение  $C_p = p \cdot S / R$  по отражателю.

$R$  – тяга

$S$  – площадь мишеля

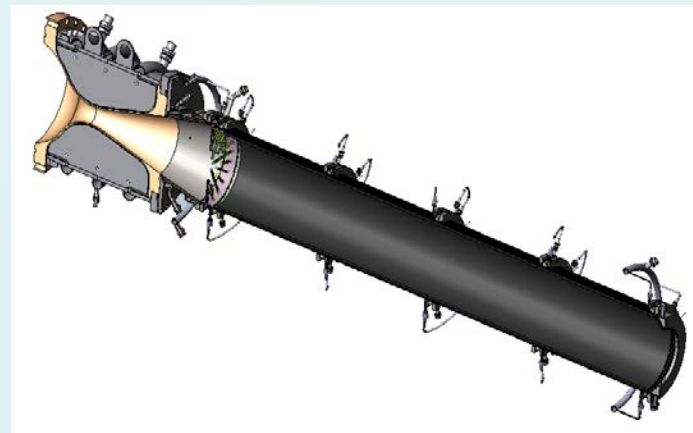
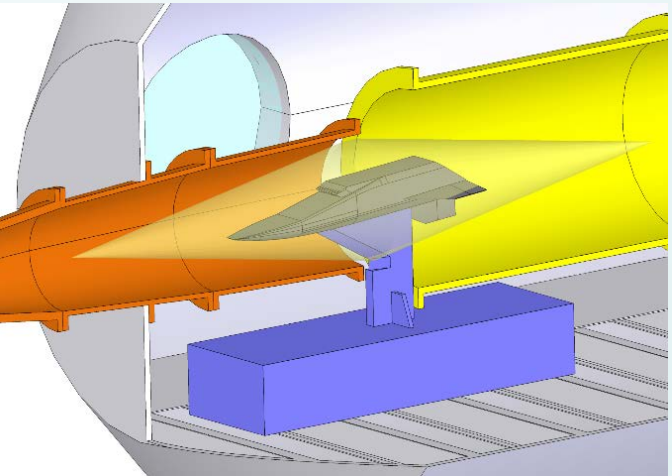


$$S_{OTN} = 4 \text{ M}$$



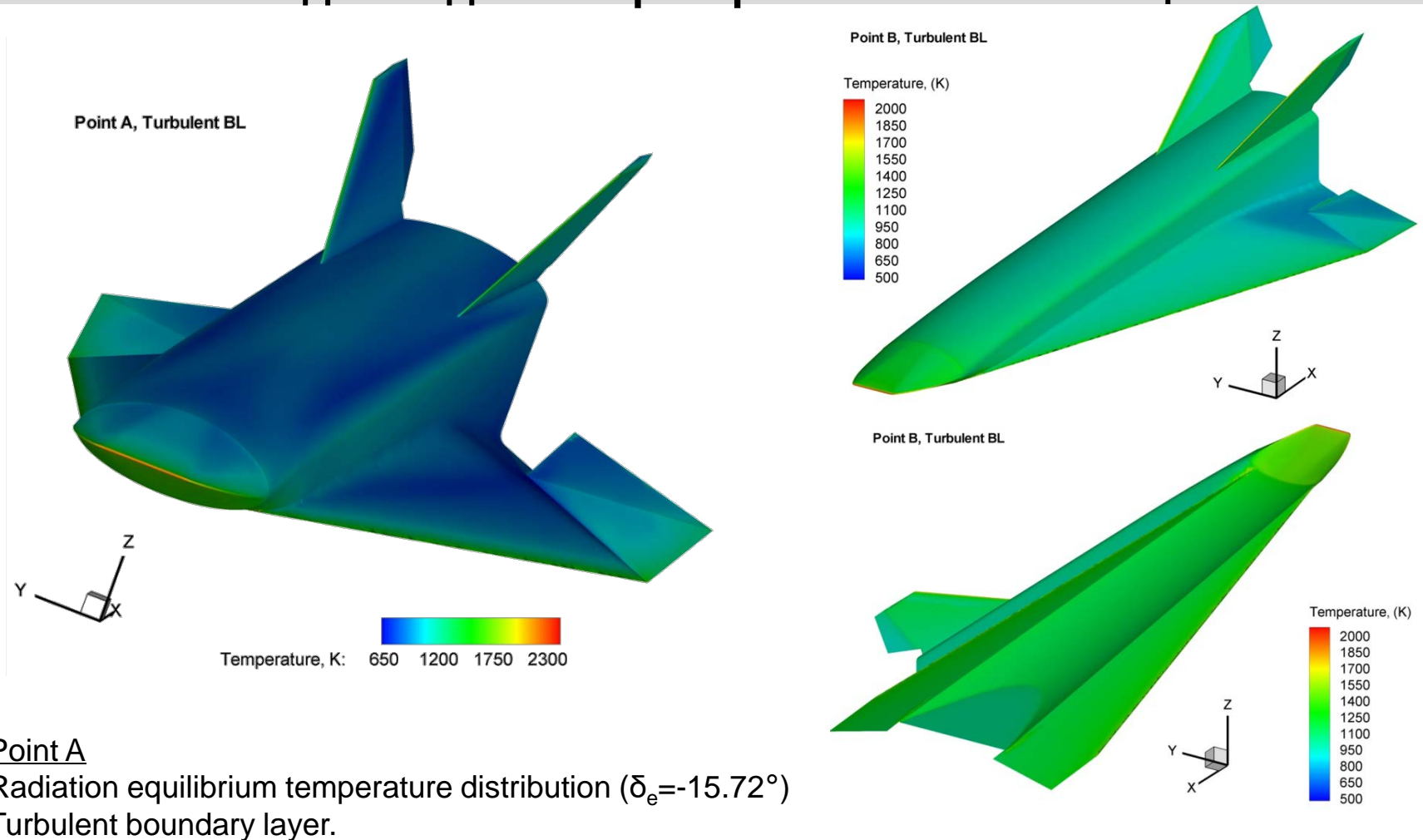
$$S_{OTN} = 7 \text{ M}$$

# Экспериментальные исследования на стендах (ОИВТ, ГРЦ Макеева, ЦИАМ, МФТИ)



# Численное моделирование вязкого течения HEXAFLY

## Создание демонстратора ГЛА и оптимизация



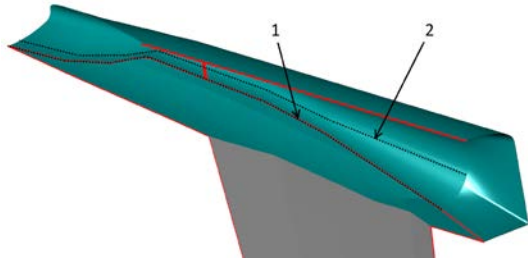
### Point A

Radiation equilibrium temperature distribution ( $\delta_e = -15.72^\circ$ )  
Turbulent boundary layer.

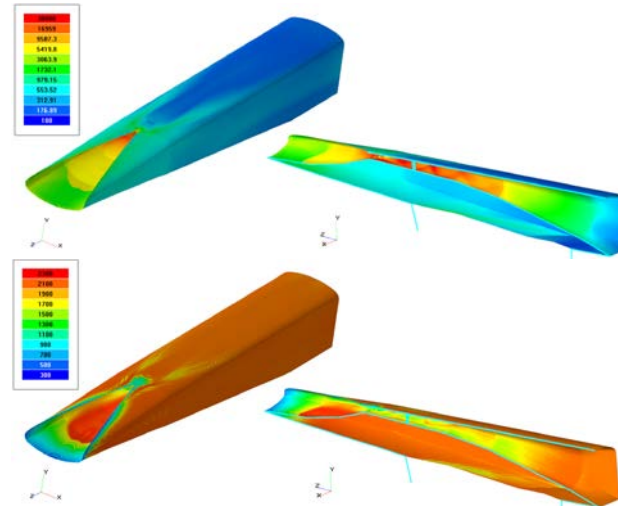
### Point B

Radiation equilibrium temperature distribution ( $\delta_e = -0.68^\circ$ )  
Turbulent boundary layer.

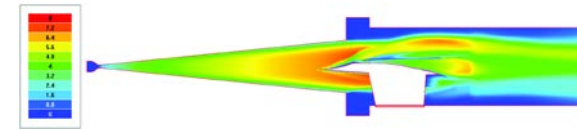
# Расчет масштабной модели модуля HEXAFLY-CIAM в программном комплексе FlowVision



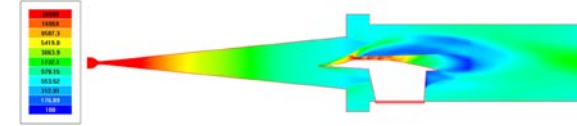
Модель ЛА HEXAFLY и схема расположения датчиков давления на поверхности:  
1 – центральная линия установки датчиков давления;  
2 – боковая линия установки датчиков давления.



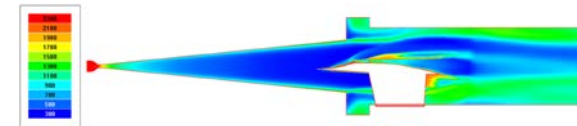
Распределение статических давления и температуры по поверхности модели ЛА HEXAFLY.



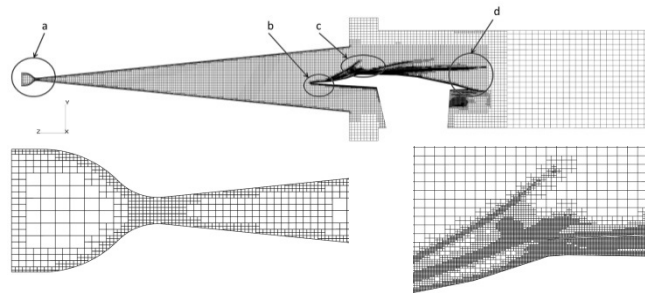
Распределение числа Маха в плоскости симметрии.



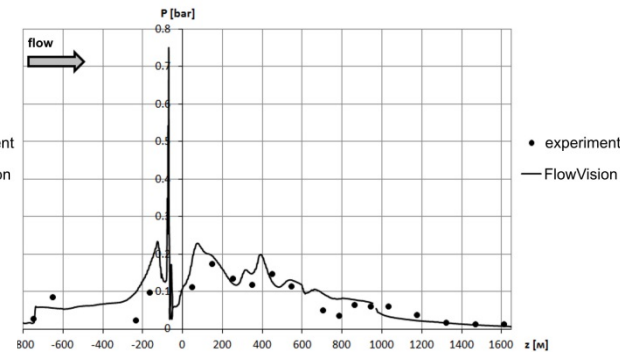
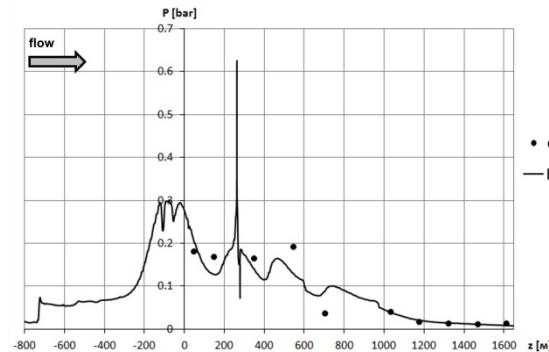
Распределение статического давления в плоскости симметрии, Па.



Распределение статической температуры в плоскости симметрии, К.

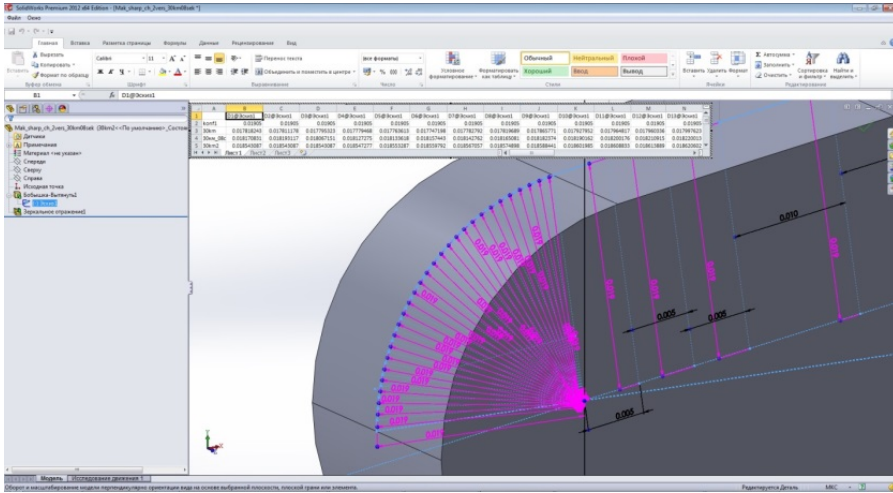


Расчётная сетка:  
а) – адаптация в подводящем сопле аэродинамической трубы;  
б) – адаптация около передней кромки модели ЛА HEXAFLY;  
с) – адаптация на входе в сопло модели;  
д) – адаптация на выходе из сопла модели.

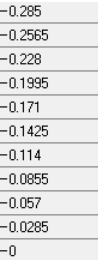
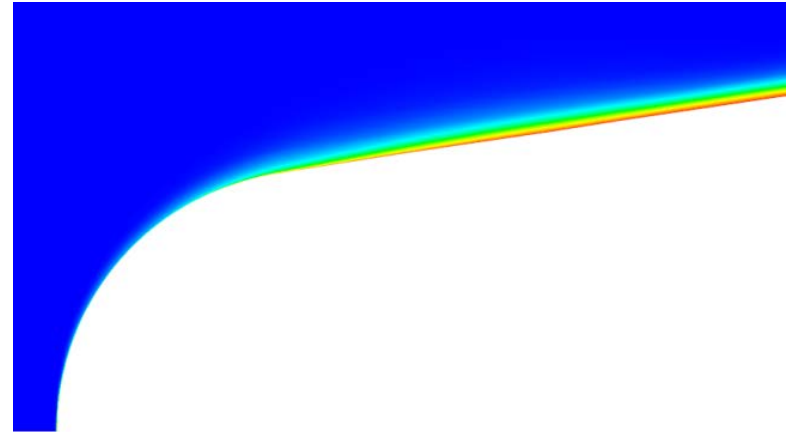


Распределения статического давления вдоль центральной и боковой линий установки датчиков давления, бар.

# Реализация возможности автоматического пересчета геометрии ГЛА во время численного моделирования

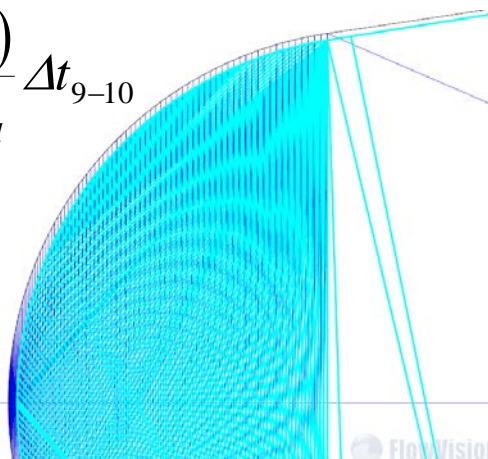


CAD модель КА с возможностью изменения геометрии

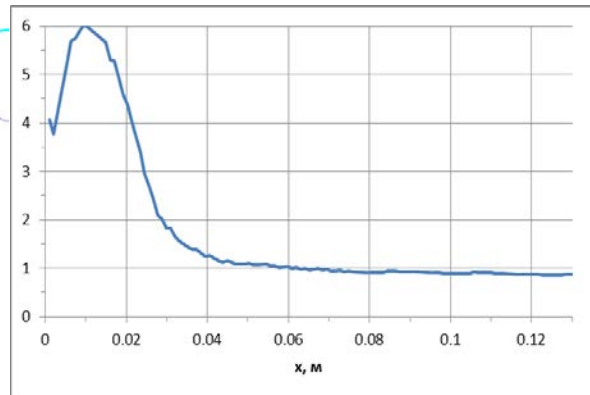


Распределение массовой доли продуктов абляции около КА на высоте 27 км.

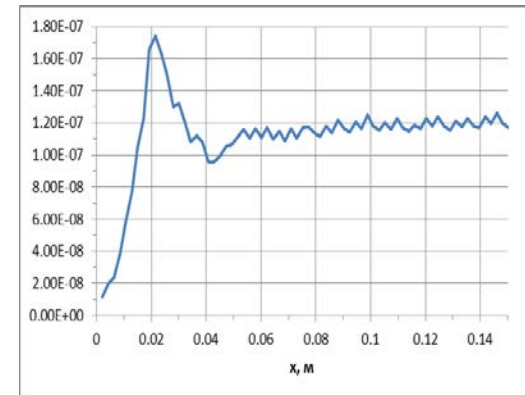
$$\Delta y_{solid} = \frac{\dot{m}(x)}{\rho_{solid}} \Delta t_{9-10}$$



Исходная(синяя) и изменённая(голубая) геометрии КА:

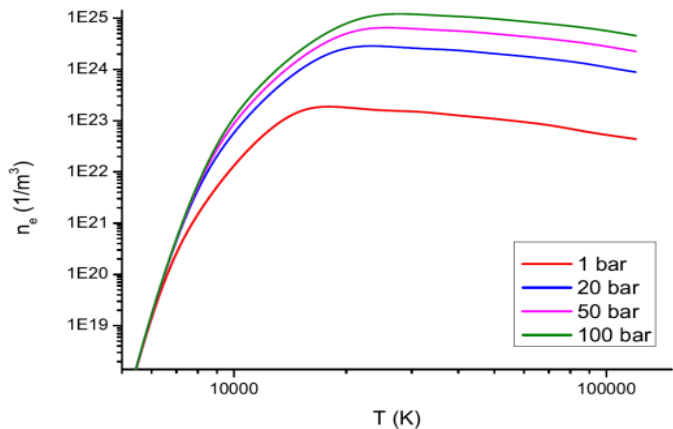


Удельная скорость вдува массы [кг м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>] с поверхности КА на высоте 27 км.

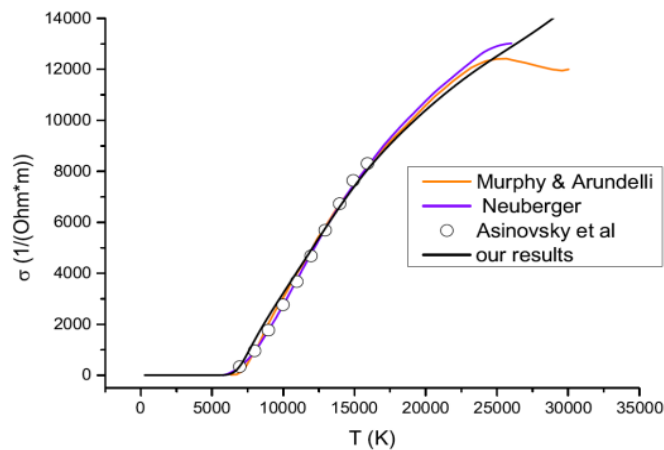


Массовая доля O<sub>2</sub> на поверхности КА (вдоль оси симметрии) на высоте 27 км

# Плазменный воспламенитель генератора высокоэнтальпийного квази-воздушного потока



Концентрация электронов в азотной плазме при различных давлениях



Проводимость азотной плазмы при атмосферном давлении

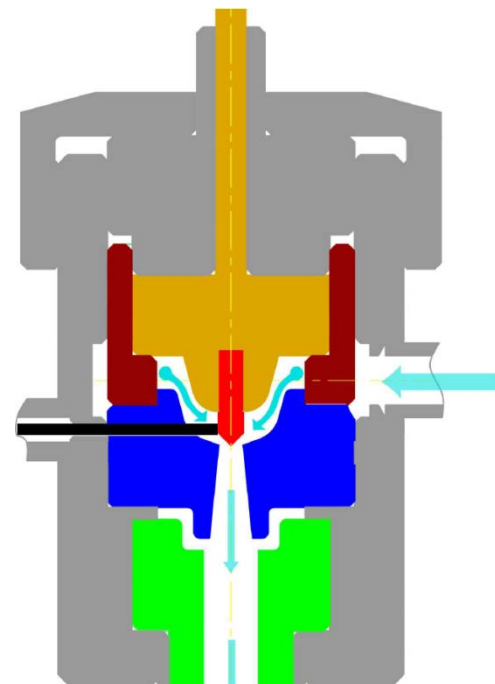
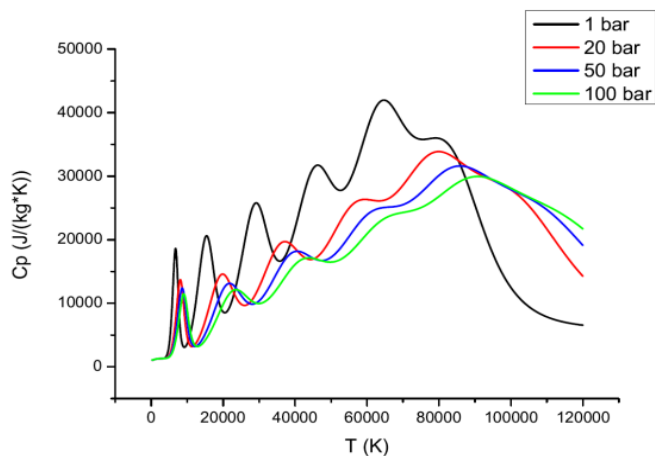
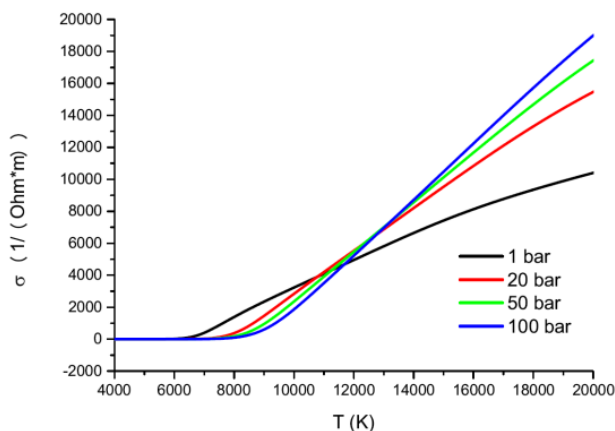


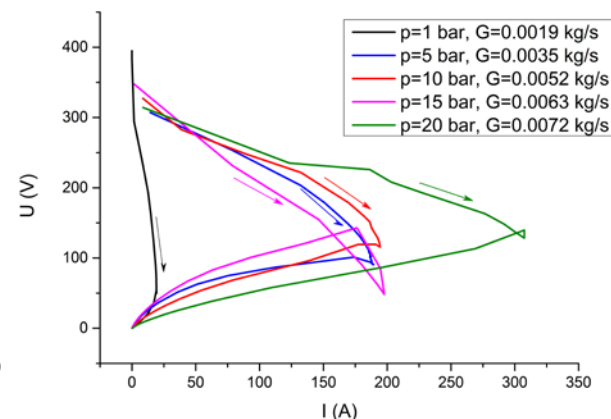
Схема плазмотрона



Теплоемкость азота при различных давлениях



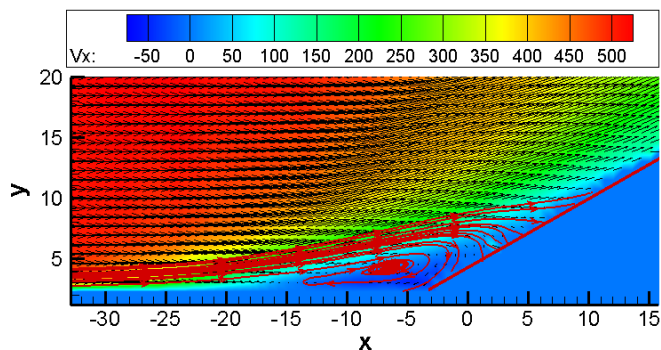
Проводимость азотной плазмы при различных давлениях



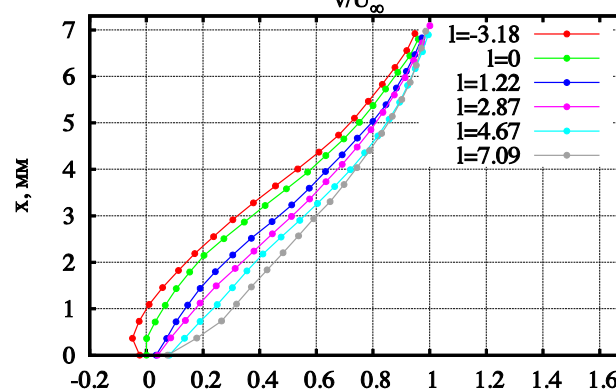
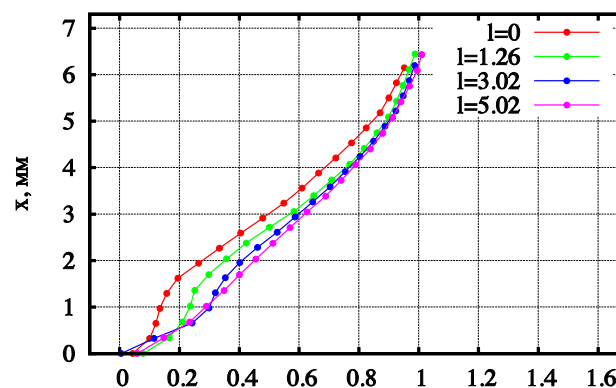
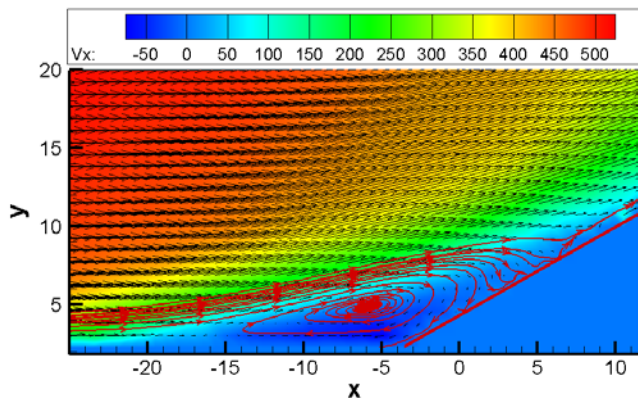
Вах дуги при различных давлениях и расходах газа

# Влияние нагрева на присоединенный пограничный слой и колебание границ зоны отрыва

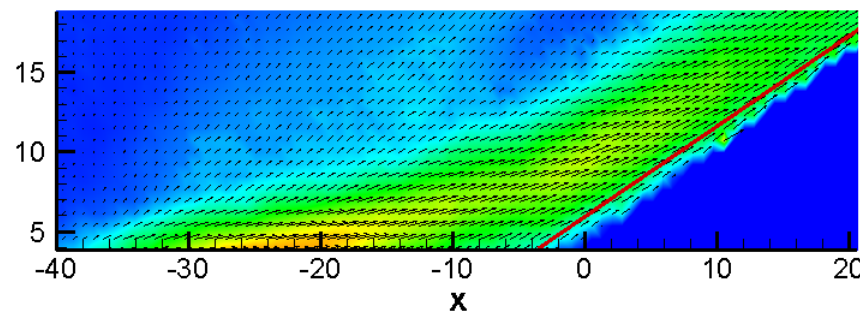
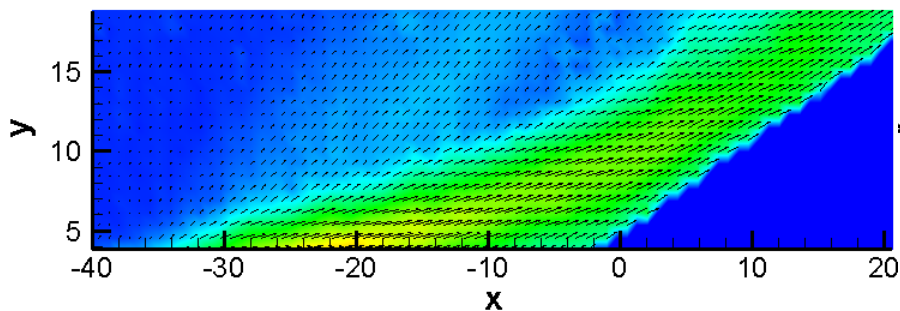
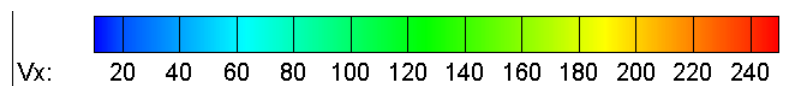
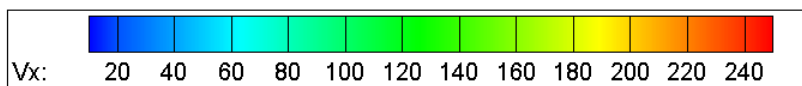
$T_w/T_\infty = 2.77$



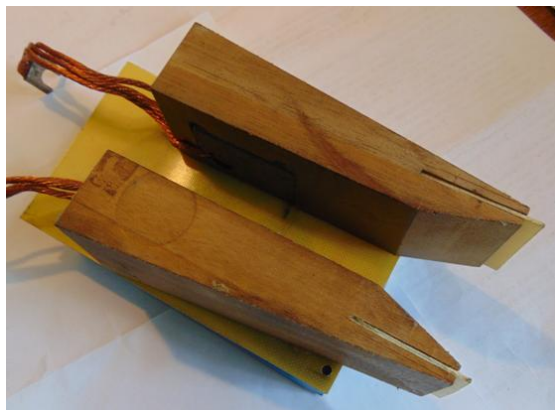
$T_w/T_\infty = 3.11$



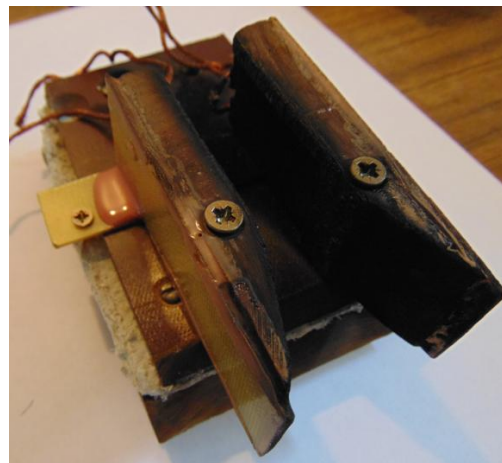
Скорость внешнего потока:  $U_\infty = 240$  м/с  
 $l$  – расстояние от точки присоединения  
 $x$  – расстояние от поверхности ramпы в пограничном слое  
 длина восстановления присоединенного пограничного слоя: 5 мм для адиабатической поверхности, 9.5 мм для  $T_w/T_\infty = 3.11$



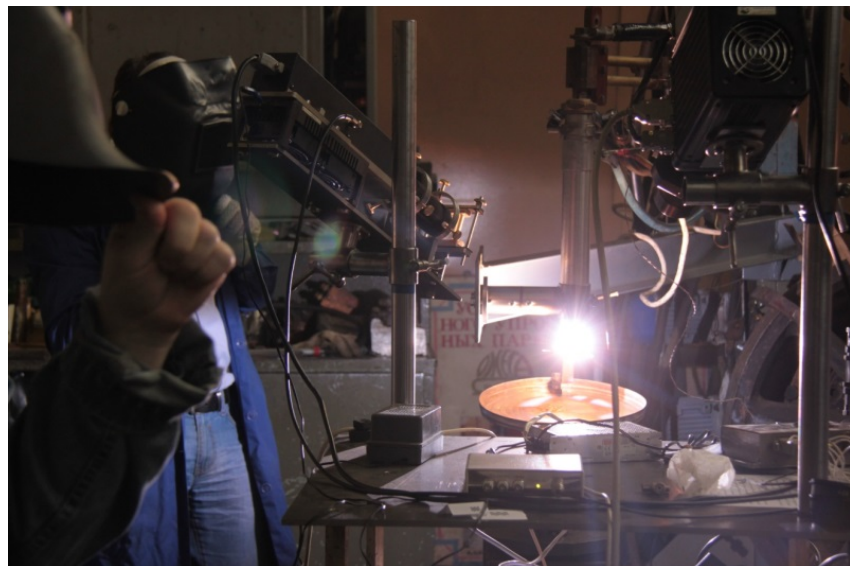
# Разработка и изготовление датчиков на основе эффекта Холла для измерения концентрации электронов в условиях, моделирующих параметры спуска



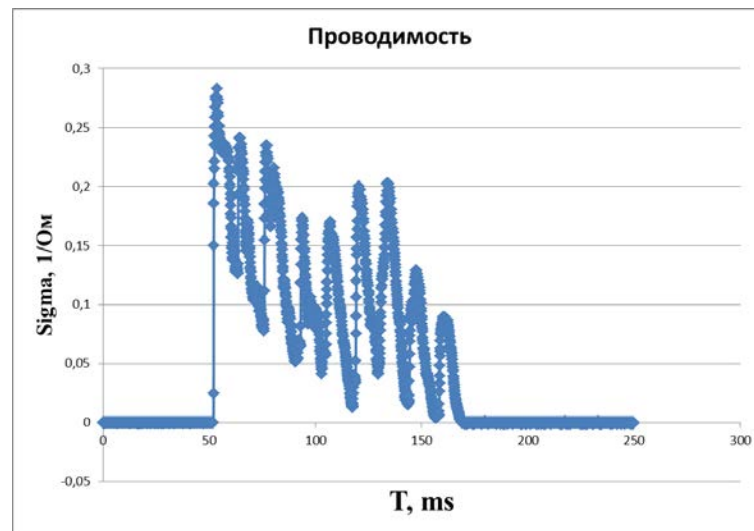
Первый образец датчика



Второй образец датчика



Плазмотрон для испытания датчиков

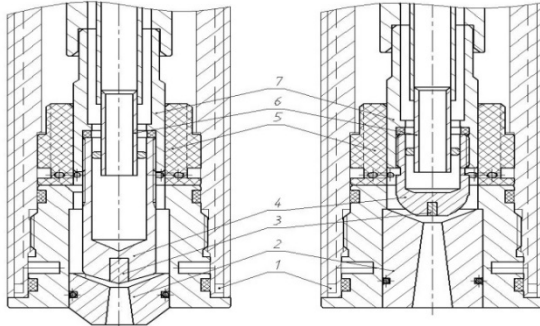
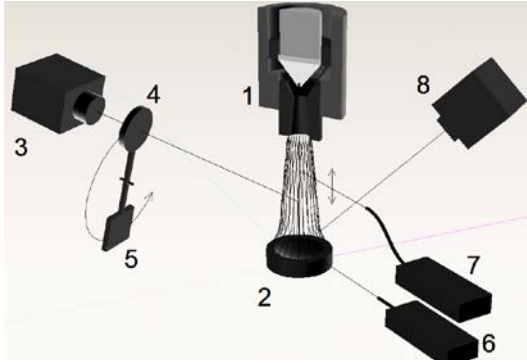


Зависимость проводимости датчика от времени



# Исследование взаимодействия высокоэнтальпийного потока с термостойким материалом

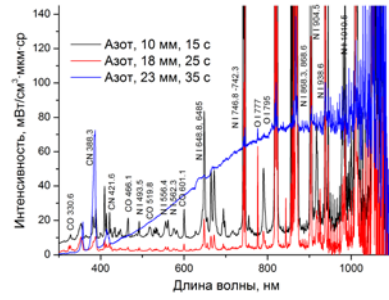
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД



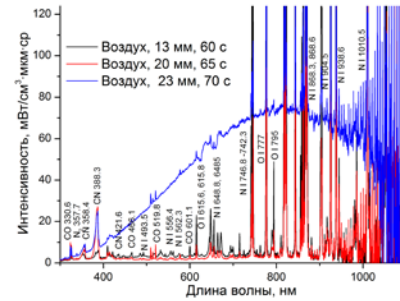
1 – корпус плазматрона; 2 – сопло анод; 3 – вставка из тугоплавкого материала; 4 – катод; 5 – изолятор; 6 – трубка охлаждения катода; 7 – катододержатель



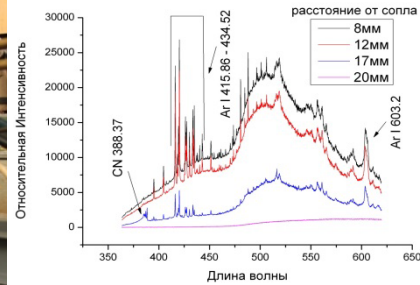
СПЕКТРОСКОПИЯ



АЗОТ



ВОЗДУХ

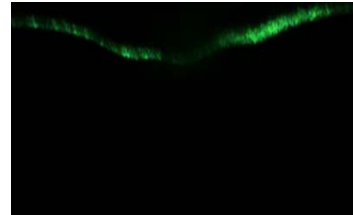
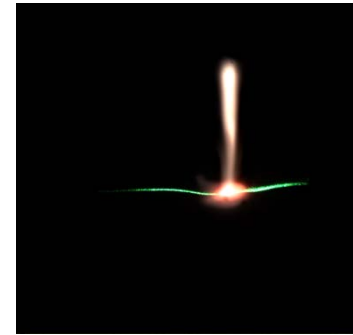


АРГОН

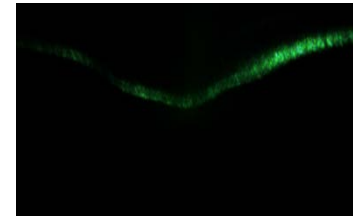
ТЕРМОМЕТРИЯ



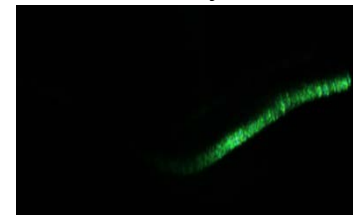
ЛАЗЕРНЫЙ НОЖ



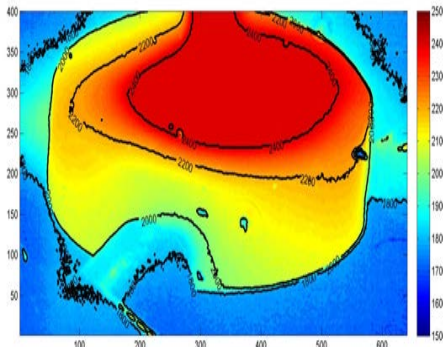
50 секунд



95 секунд



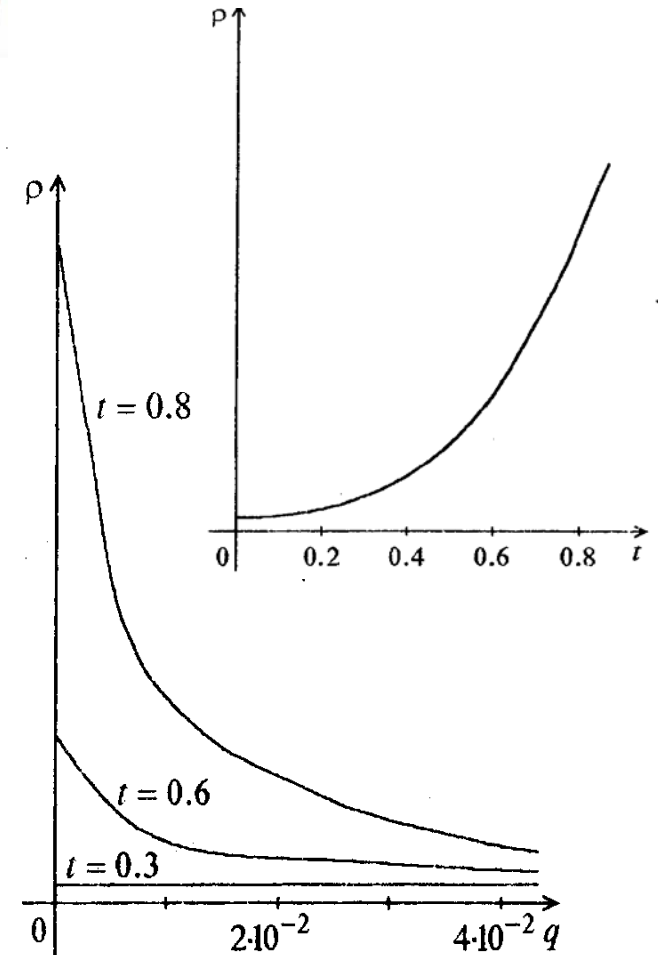
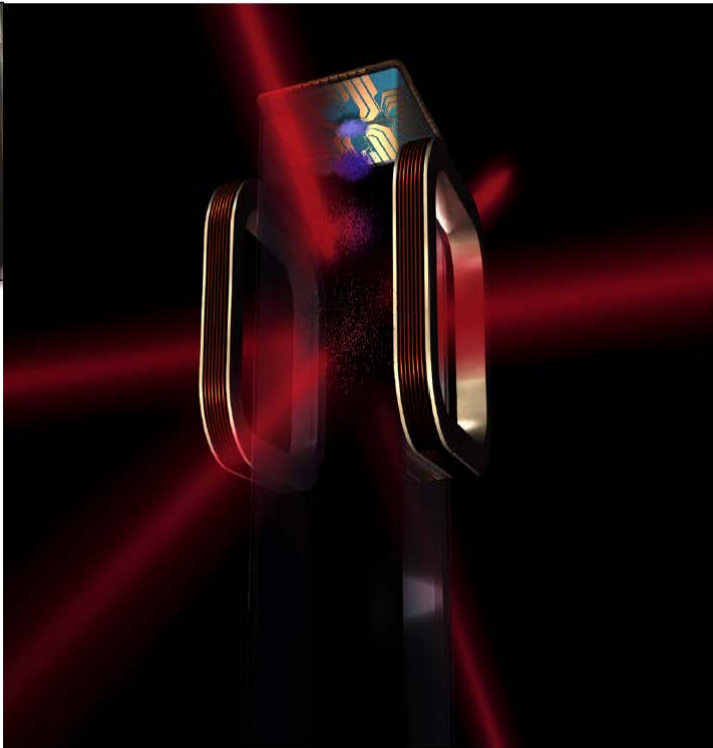
155 секунд



# Предложения по экспериментам на МКС по бозе-эйнштейновской конденсации и ридберговской материи



Cold Atom Laboratory (CAL)



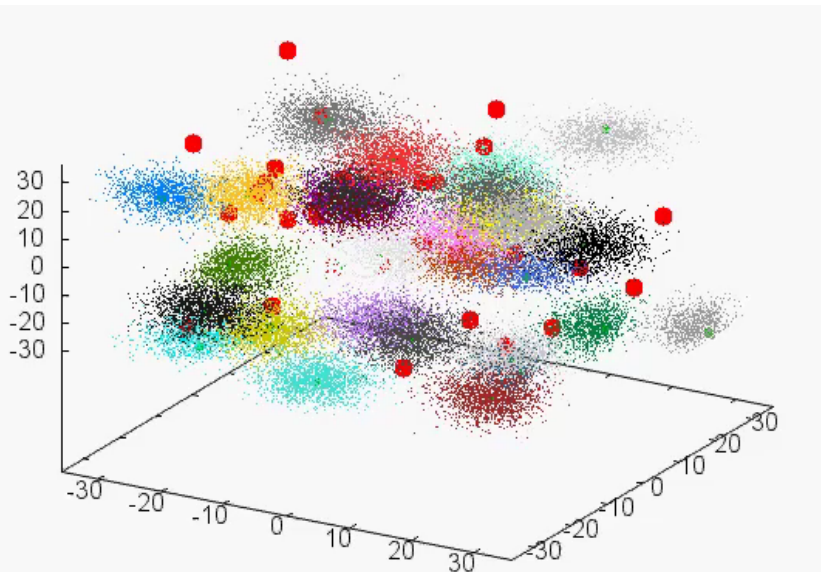
# **Базы данных и облачные вычисления**

# Влияние граничных условий на результаты моделирования неидеальной плазмы методами классической МД и МД с волновыми пакетами

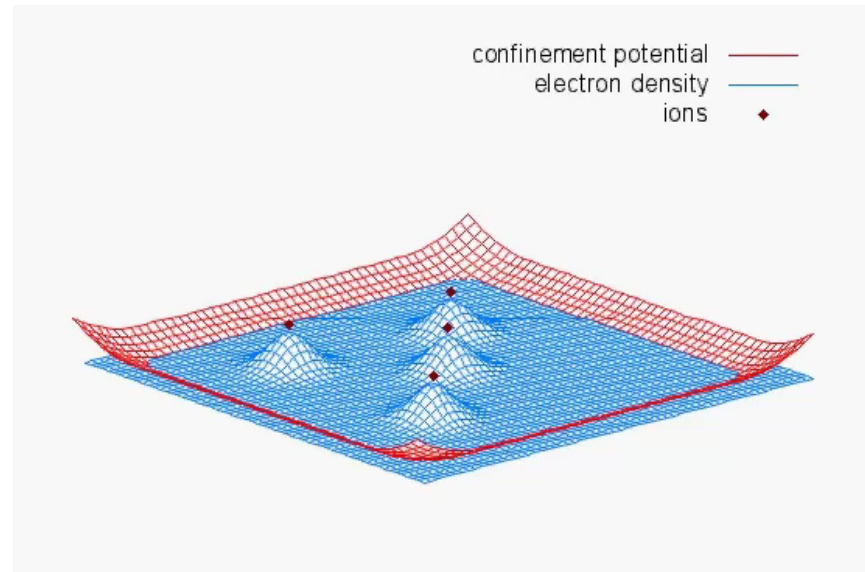
зав. отд. Морозов И.В., м.н.с. Лавриненко Я.С., с.н.с. Валуев И.А.

Представление электрона в виде одного или нескольких гауссовских волновых пакетов позволяет решить проблему псевдопотенциалов в методе классической МД для неидеальной плазмы, однако существует нерешенная проблема расплывания пакетов.

## Периодические граничные условия: расплывание волновых пакетов



## Ограниченная ячейка: нет расплывания



I.A. Valuev, I.V. Morozov // J. Phys. Conf. Ser. 2015. V. 653. P. 012153.

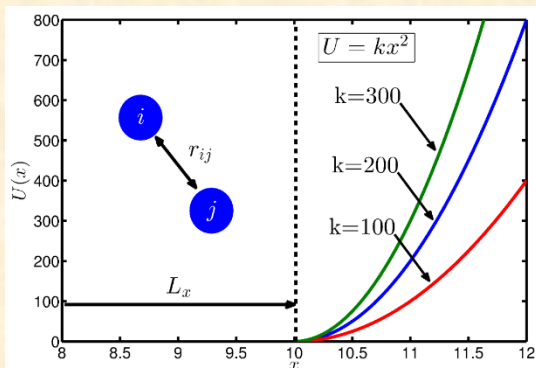
Ya. S. Lavrinenko, I. V. Morozov, I. A. Valuev // Contrib. Plasma Phys. 2016 (in press);

Ya. S. Lavrinenko, I. V. Morozov, I. A. Valuev // J. Phys. Conf. Ser. 2016 (in press);

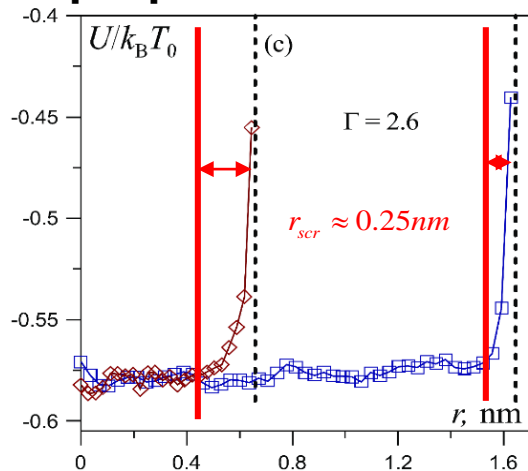
# Влияние граничных условий на результаты моделирования неидеальной плазмы методами классической МД и МД с волновыми пакетами

зав. отд. Морозов И.В., м.н.с. Лавриненко Я.С., с.н.с. Валуев И.А.

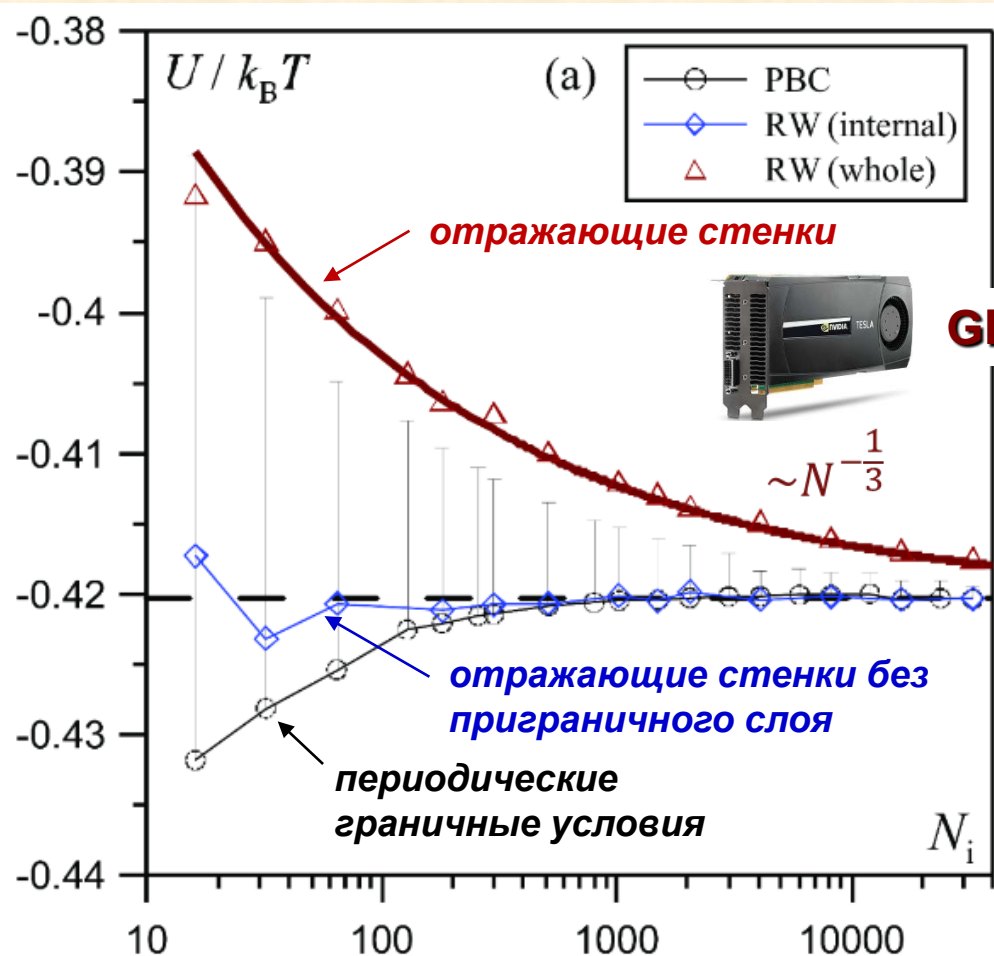
## Отражающий гармонический потенциал



## Приграничный слой



## Потенциальная энергия в зависимости от числа частиц



# Термодинамические функции $\text{GeO}_2$ в конденсированной фазе для различных полиморфных модификаций

(Совместно с НИЦ «Термохимия материалов» МИСиС)

**Актуальность исследования:** использование легирующих добавок **Ag-Cu-Ge-O-S** для повышения коррозионной стойкости металлов

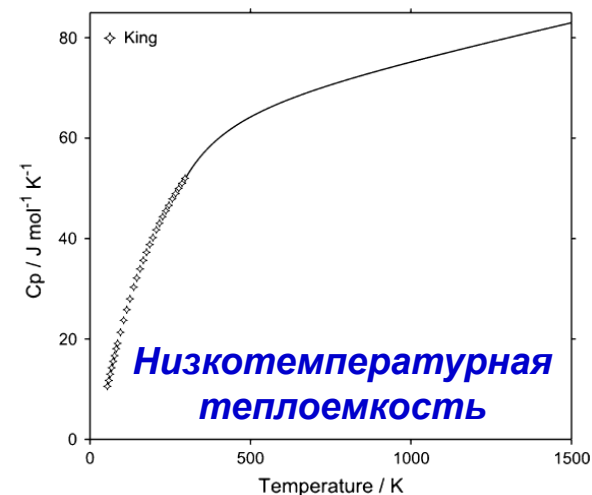
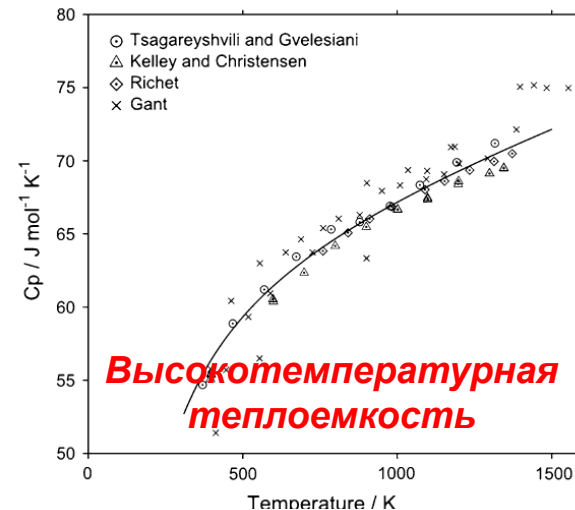
**Основание:** договор между МИСиС и Выксунским металлургическим заводом (ВМЗ)



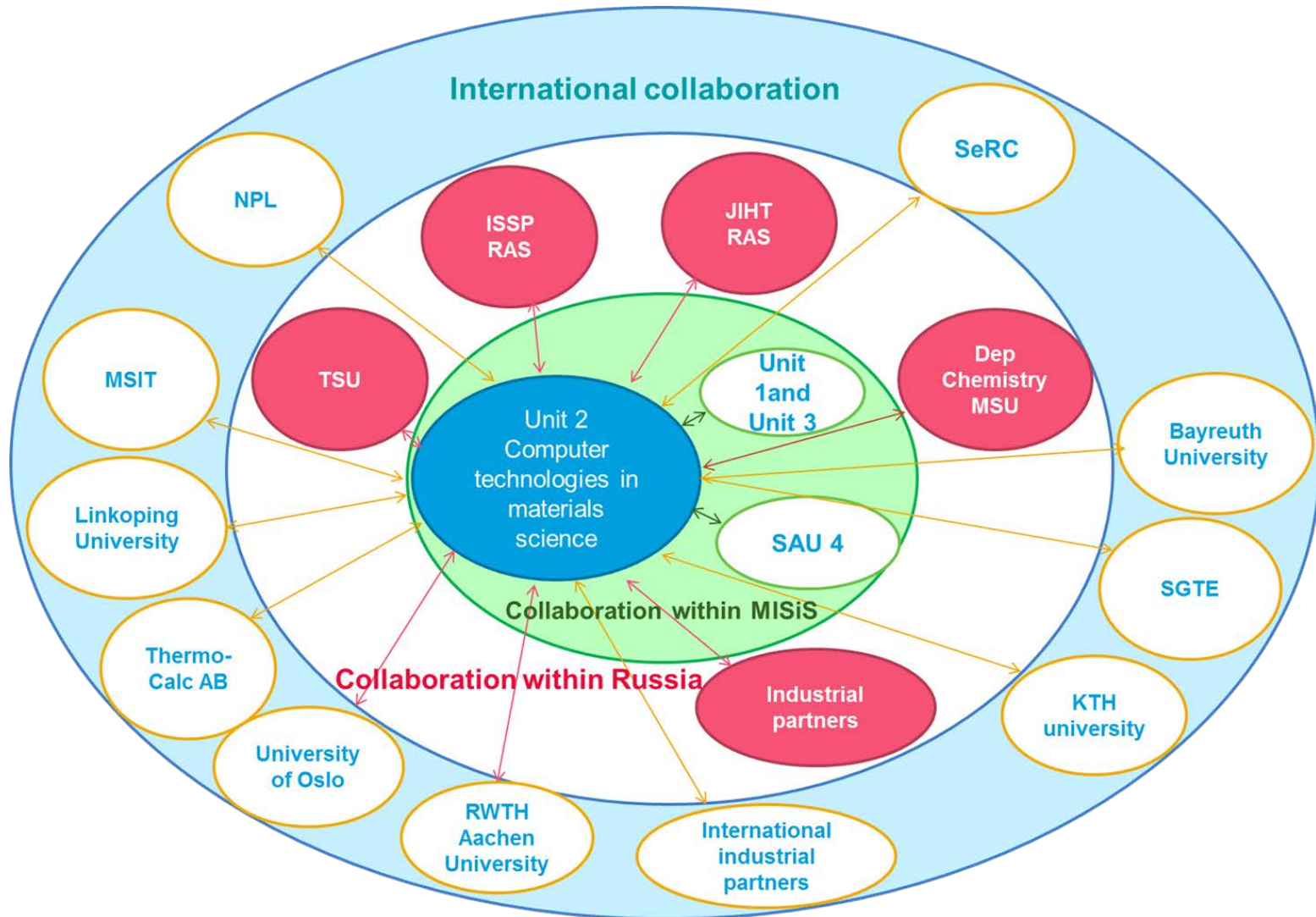
Исследованы модификации Ge-O:

- Тетрагональная
- Гексагональная
- Аморфная

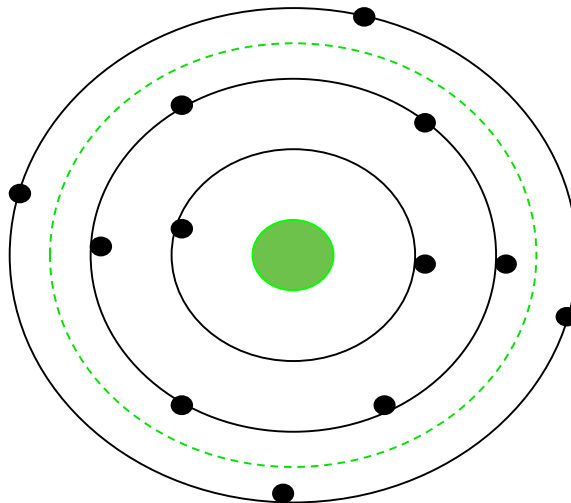
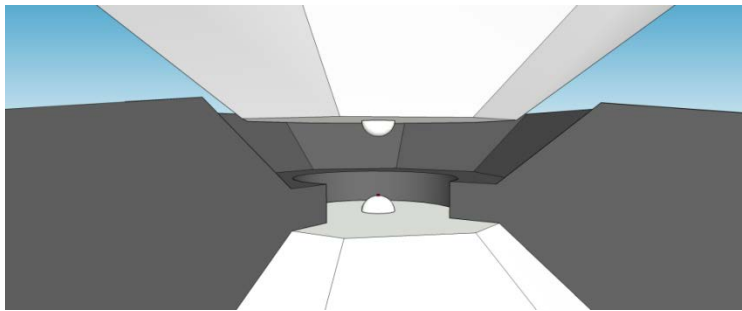
Результаты для гексагональной фазы:



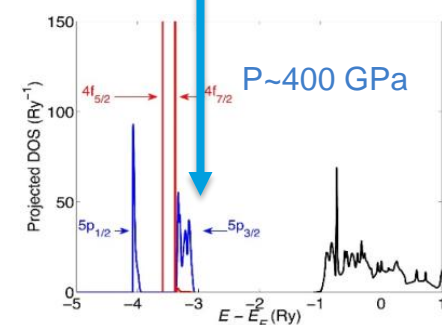
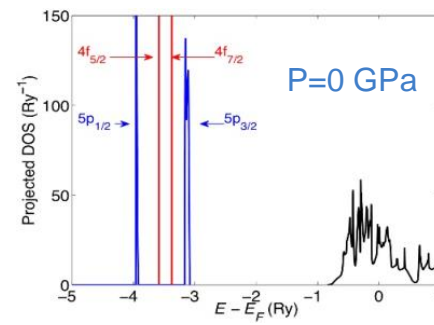
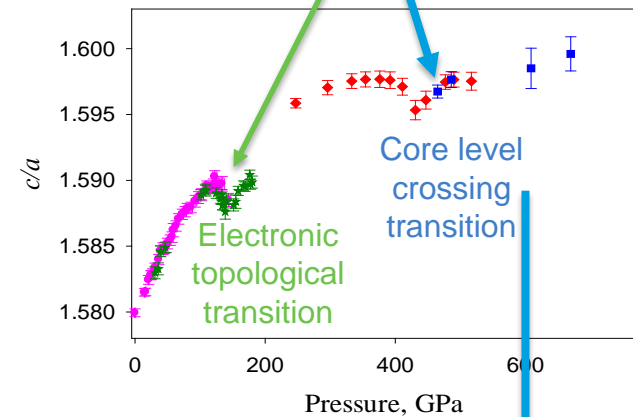
# Международное и российское сотрудничество в области баз данных материалов (JIHT RAS – Термоцентр, отдел Морозова И.В.)



# Электронные переходы в спектре ГЦК решетки Os при давлениях выше 750 ГПа (совместно с МИСИС) (Термоцентр Аристов Н.М., Морозов И.В.)



Experiment shows peculiarities of pressure dependence of  $c/a$  lattice parameters ratio in hcp Os.



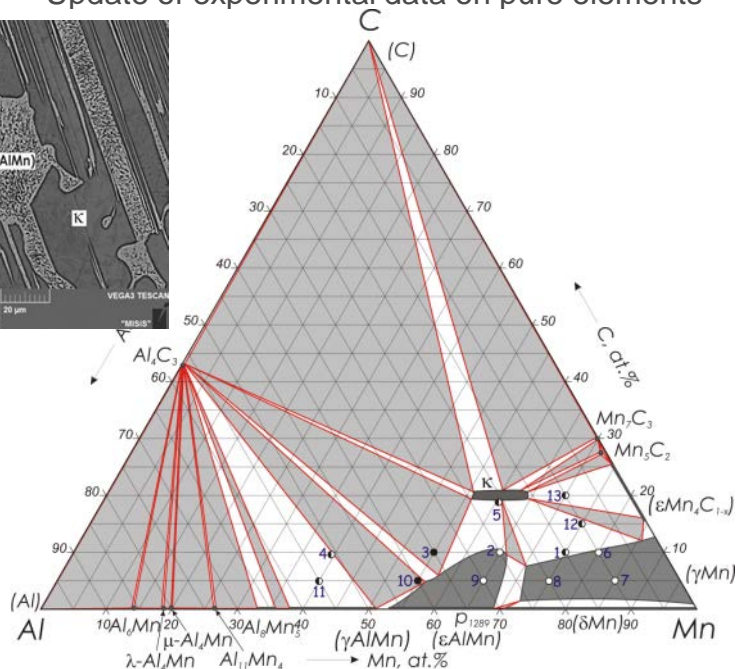
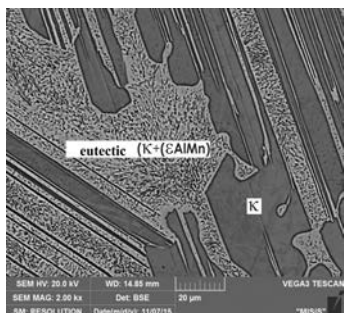
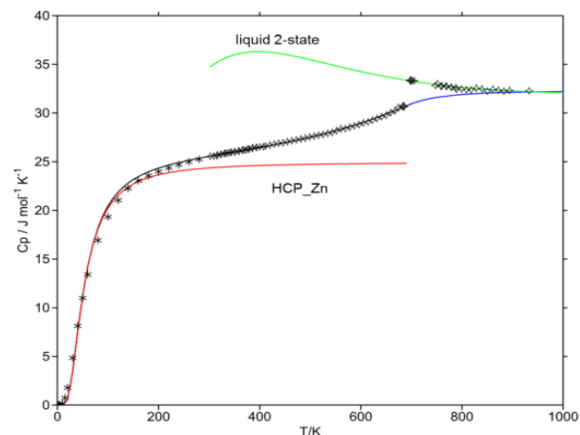
Theory explains them discovering electronic transitions in Os upon compression



# База данных Ивтантермо и Calphad (Металлы и сплавы, жидкости, газовая фаза)

## New Pure elements database:

- Implementation of the Einstein model for  $C_p$
- Implementation of the two state model for liquids
- Thermodynamic data for vacancies
- Update of experimental data on pure elements



## New Steels data base development:

- Thermodynamic assessments of the steel related systems
- Modelling of the Stacking Fault Energies
- Experimental investigations of important steel related systems
- Update of experimental thermodynamic data for important compounds (e.g. k-phase)

“Thermodynamic data for vacancies”, A Dinsdale, A Watson, A Khvan, *Materials Science and Technology*, 2014, 30(14), 1715-8

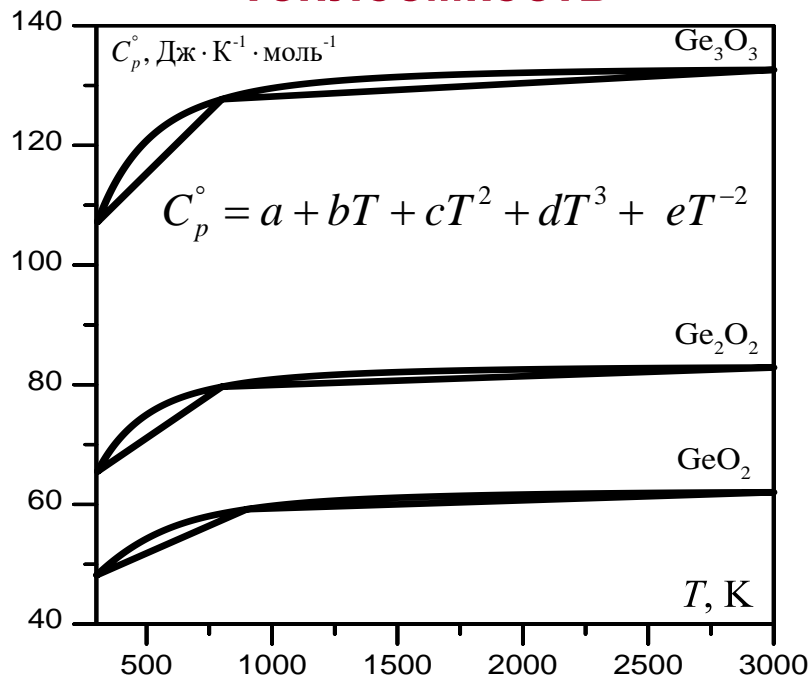
“Experimental determination of the thermodynamic properties of the Laves phases in the Cr-Fe-Nb system”, E.A. Syutkin., A. Jacob, C. Schmetterer, A.V. Khvan, B. Hallstedt, A.T. Dinsdale, submitted for publication in *Thermochimica Acta* 2016; 624:47-54

“Phase equilibria in the Fe-Mn-Ce system at 900°C” I.V. Fartushna, A.V. Khvan, A.T. Dinsdale, VV Cheverikin, *Journal of alloys and compounds*, 2016;658:331-336

# Термодинамические функции оксидов германия в газовой фазе

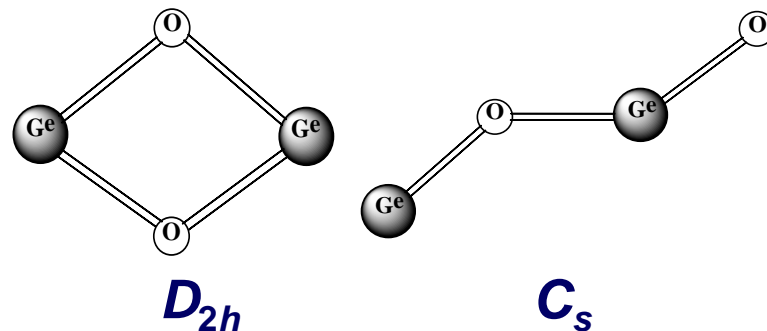
с.н.с. Осина Е.Л.

## Теплоемкость

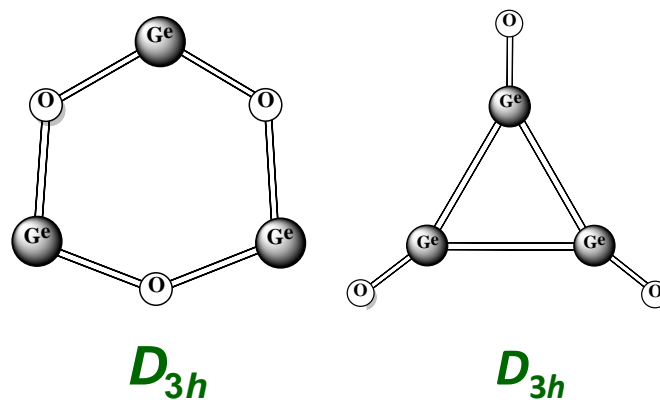


Согласно масс-спектрометрическим исследованиям пары аморфного оксида германия  $\text{GeO}_2(\text{ам.})$  и системы  $\text{GeO}_2(\text{гекс.}) + \text{Ge}(\text{к})$  состоит в основном из мономерных молекул  $\text{GeO}$ . Наряду с этим, в парах присутствуют и более сложные комплексы:  $\text{Ge}_2\text{O}_2$  и  $\text{Ge}_3\text{O}_3$ , а также  $\text{GeO}_2$ . Таким образом, для термодинамического моделирования высокотемпературных процессов в системе  $\text{Ge-O}$  необходимы термодинамические функции всех этих молекул.

## Структурные изомеры $\text{Ge}_2\text{O}_2$



## Структурные изомеры $\text{Ge}_3\text{O}_3$



# Разработаны облачные функции по теплофизическим свойствам рабочих тел для расчета парогазовых энергетических блоков для ТЭЦ с тепловыми насосами как альтернатива пиковым водогрейным котлам

Свойства воды и водяного пара [☞ Reference:http://twt.mpei.ru/tthb/H2O.xmcdz](http://twt.mpei.ru/tthb/H2O.xmcdz)

Свойства газа [☞ Reference:http://twt.mpei.ru/tthb/Gas.xmcd](http://twt.mpei.ru/tthb/Gas.xmcd)

Хладагент R134a [☞ Reference:http://twt.mpei.ac.ru/TTHB/2/R134aHPT.xmcdz](http://twt.mpei.ac.ru/TTHB/2/R134aHPT.xmcdz)

Параметры ГТУ:

$p_1 := 0.1 \text{ МПа}$

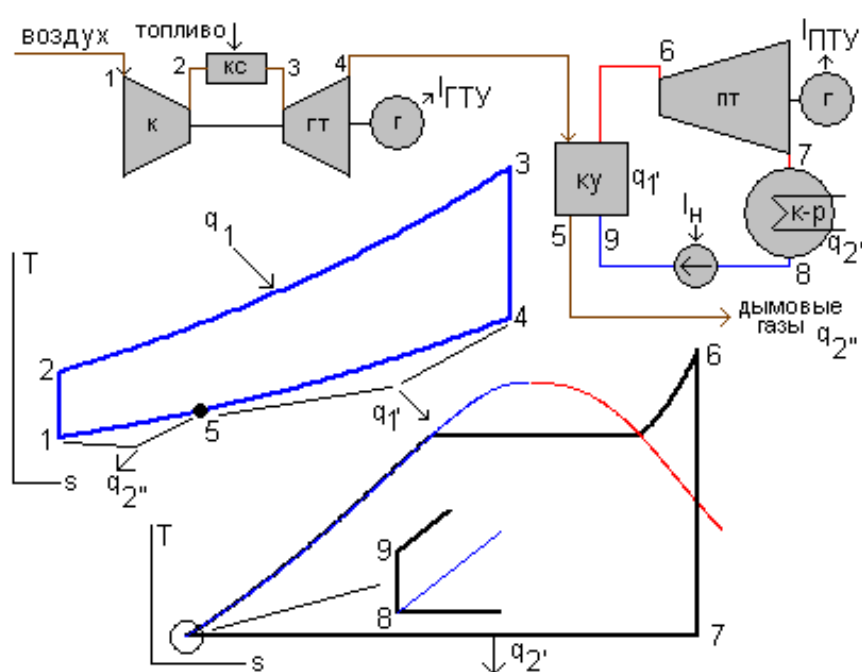
$T_1 := 15 \text{ }^\circ\text{C}$

$p_2 := 1 \text{ МПа}$

$T_3 := 1100 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_5 := 130 \text{ }^\circ\text{C}$

$wf := \text{"Air"}$



Параметры ПТУ:

$T_6 := 480 \text{ }^\circ\text{C}$

$p_6 := 9 \text{ МПа}$

$p_7 := 4.76 \text{ кПа}$

Обозначения:

- ГТУ - газотурбинная установка
- к - компрессор
- кс - камера сгорания
- гт - газовая турбина
- ПТУ - паротурбинная установка
- ку - котел-утилизатор
- пт - паровая турбина
- к-р - конденсатор
- н - питательный насос
- ПГУ - парогазовая установка

Удельная энтальпия водяного пара на входе в турбину:

$h_6 := \text{wspHPT}(p_6, T_6) = 3336.3 \text{ кДж/кг пара}$

Удельная энтальпия воздуха на входе в компрессор:

$h_1 := \text{wspgHGST}(wf, T_1) = 288.56 \text{ кДж/кг газа}$

Удельная энтальпия R134a в тепловом насосе:

$h := \text{R134aHPT}(p_2, T_1) = 220.55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

+

# Теплофизика тугоплавких и жидких металлов

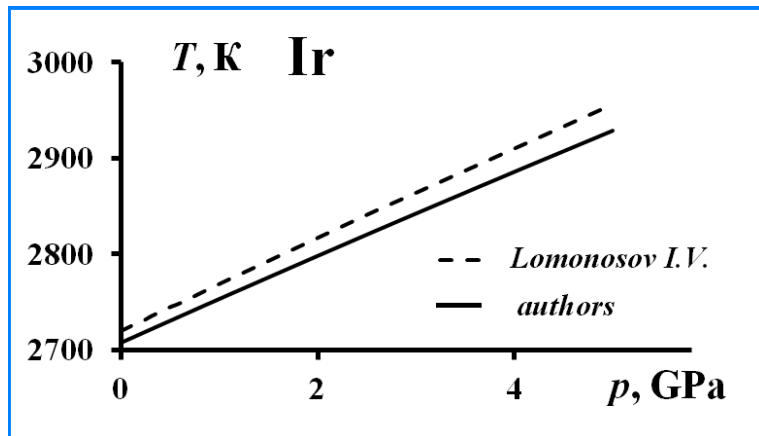
**Метод прогнозирования кривых плавления тугоплавких металлов.**

**Фокин Л.Р., Зицерман В.Ю., Кулямина Е.Ю.**

Метод опробован на тугоплавких металлах платиновой группы (Ru, Os, Ir), для которых ранее в ОИВТ РАН были проведены высокоточные измерения энтальпии и теплоемкости твердой фазы.

Кулямина Е.Ю., Зицерман В.Ю., Фокин Л.Р. Осмий - кривая плавления и согласование высокотемпературных данных. // Теплофизика высоких температур. Т. 53(1). С. 141-144 (2015)

Кулямина Е.Ю., Зицерман В.Ю., Фокин Л.Р. Кривые плавления для металлов платиновой группы согласование данных для иридия. // Мониторинг. Наука и технологии. №1(22). С.76- 83 (2015).



**Цикл работ Фокина Л.Р. совместно с КБГУ им. Х.М. Бербекова**

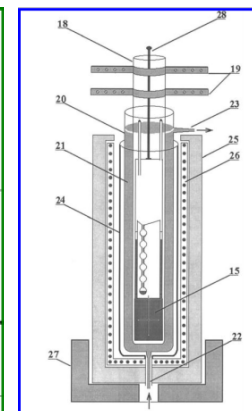
**1. Исследования по поверхностному натяжению высокочистой ртути в области положительных температур.**

Алчагиров Б.Б., Альбердиева Д.Х., Дышекова Ф.Ф., Фокин Л.Р. Температурная зависимость поверхностного натяжения ртути повышенной чистоты.

Сб.труд. XIII Российско-Китайского Симпозиума "Новые материалы и технологии" М.: Интерконтакт Наука. 2015. Том 2, С. 876-881. ...

**2. Патент на изобретение РФ №2567187, 23 октября 2015 г. «Термостат и пикнометр для прецизионных измерений плотности жидкости».**

Авторы: Алчагиров Б.Б., Альбердиева Д.Х., Горчханов В.Г., Фокин Л.Р., Архестов Р.Х., Дышекова Ф.Ф., Кегадуева Т.А., Афаунова Л.Х.

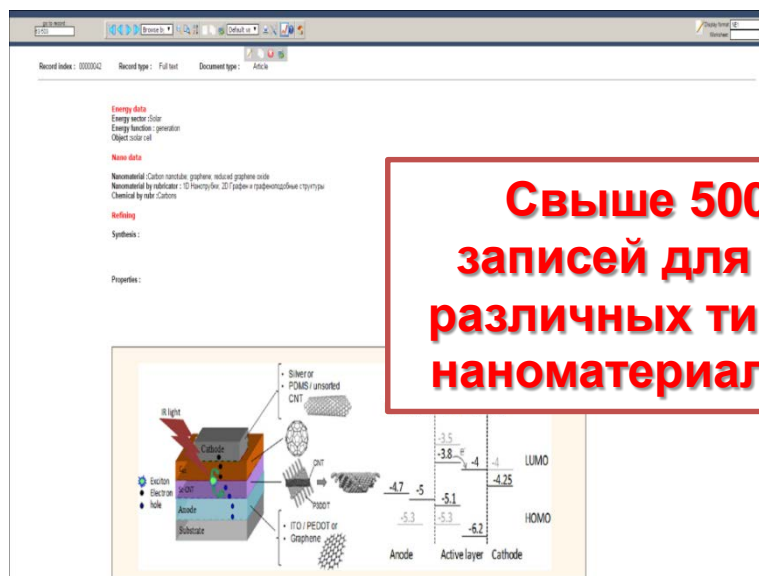


# Систематизация свойств и характеристик и разработка базы данных по теплофизическим и эксплуатационным свойствам наноматериалов для энергетики

[www.nanoenergy.thermophysics.ru](http://www.nanoenergy.thermophysics.ru)

Примеры записей в БД по наноматериалам для энергетики

Демонстрация системы поиска БД по рубриктору

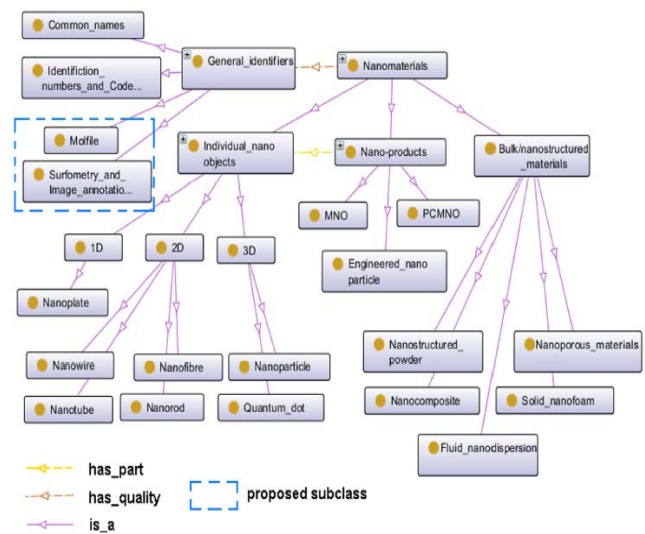


Michael Trachtengerts, Adilbek Erkimbaev, Vladimir Zitserman, Georgii Kobzev Using a digital library instead of a traditional data base: ABCD-based infrastructure for nanotechnology // The Electronic Library 2015 33:5 V.33, Is.5, pp. 916 - 927

(Зав. лаб. №4.4.2. НИЦ ЭФТП ОИВТ РАН, к.т.н. А.О. Еркимбаев, тел. (495) 485-10-45)

# Разработка программных средств для целей интеграции и обмена теплофизическими данными с использованием технологий Semantic Web.

## Онтологическая модель по наноматериалам



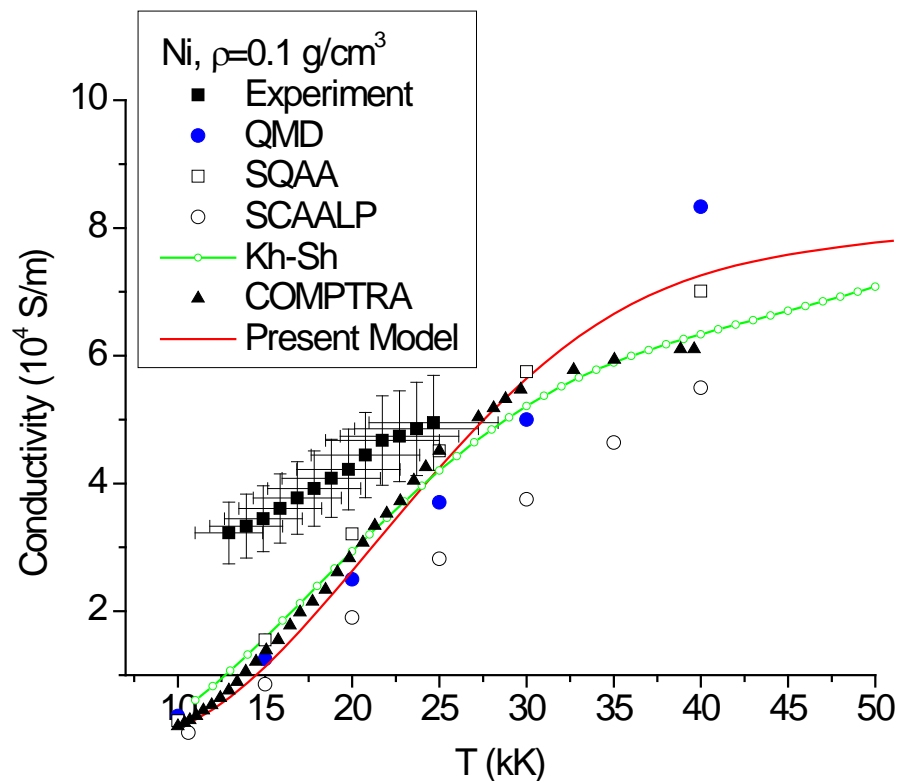
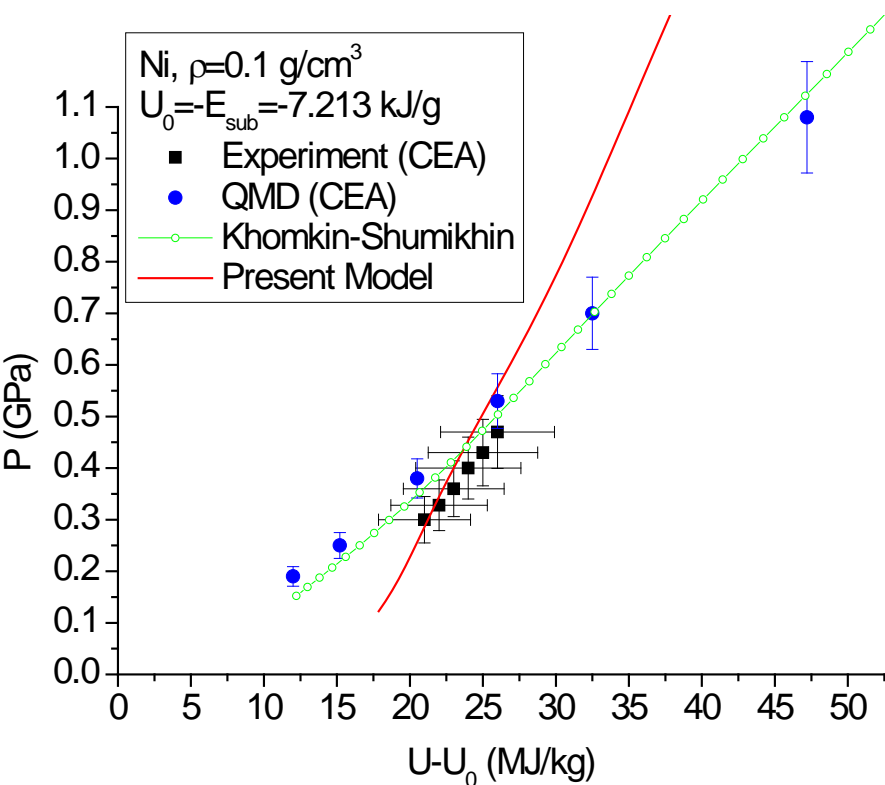
A universal metadata system for the characterization of nanomaterials  
 A. O. Erkimbaev, V. Yu. Zitserman, G. A. Kobzev, M. S. Trakhtengerts  
 // Scientific and Technical Information Processing October 2015, Volume 42, Issue 4, pp 211-222.

Связывание свойств (предикаты) и значений (объекты) для экземпляра «О (атом кислорода)» разработанной онтологии (DSP) с внешними онтологиями

Property	Value
SIO:CHEMINF_000446	18531-99-2
dps:URI	-http://www.chemspider.com/
dps:hasCAS	18531-99-2
is dps:hasSubstance of	-http://datapropsubst.thermophys.ru/8080/resource/thermop
rdfl:label	Substance #101 - O - Oxygen
dps:name	Oxygen
dps:numberRow	101 (xsd:integer)
owl:sameAs	http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.14052x
dps:substFormula	O
rdfl:type	dps:Substances

Еркимбаев А.О., Цицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Косинов А.В.  
 Связывание онтологий с базами данных по свойствам веществ и материалов. // Научно-техническая информация. Серия 2. №12. С. 1-16 (2015)

# Уравнение состояния и транспортные коэффициенты плазмы никеля



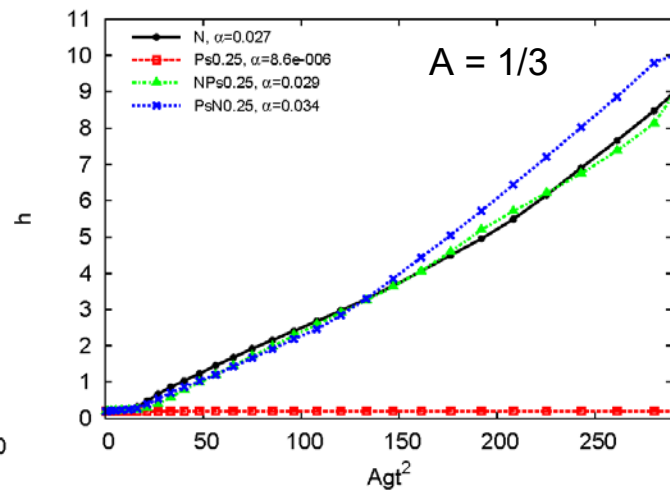
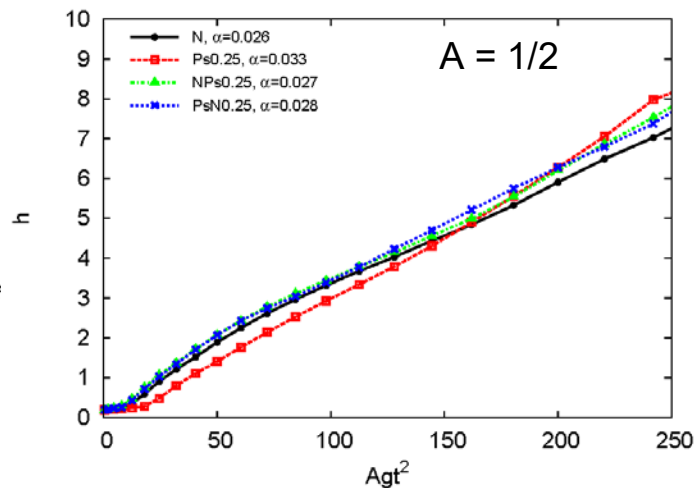
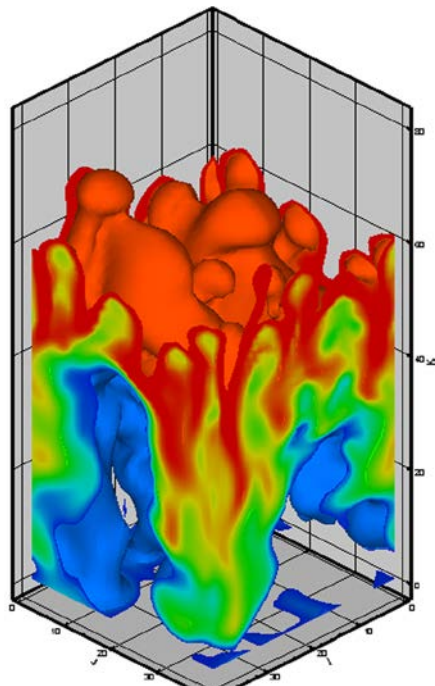
Зависимость давления от внутренней энергии для плазмы никеля на изохоре  $0.1 \text{ г/см}^3$  по данным различных моделей и измерений

Зависимость электропроводности от температуры для плазмы никеля на изохоре  $0.1 \text{ г/см}^3$  по данным различных моделей и измерений

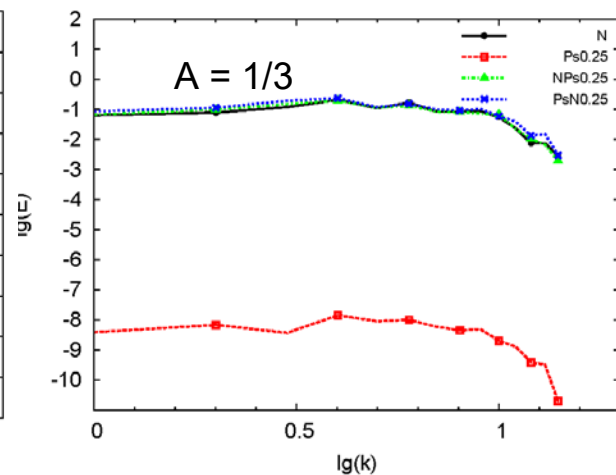
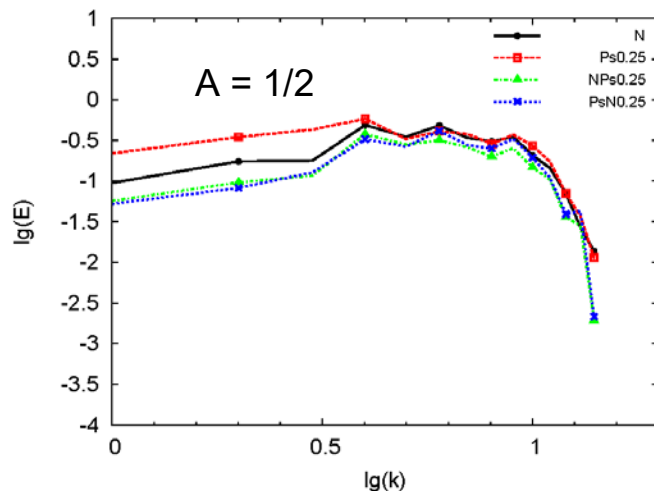
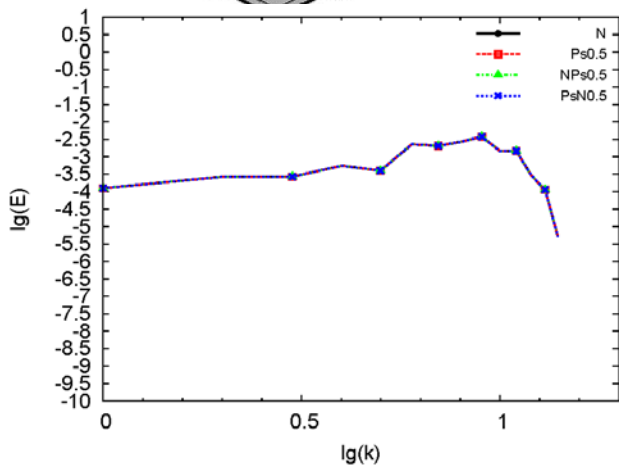
# **Численное моделирование и пакеты прикладных программ**



# Расчетно-теоретические исследования неустойчивости Релея-Тейлора и развития турбулентности в вязких неньютоновских жидкостях

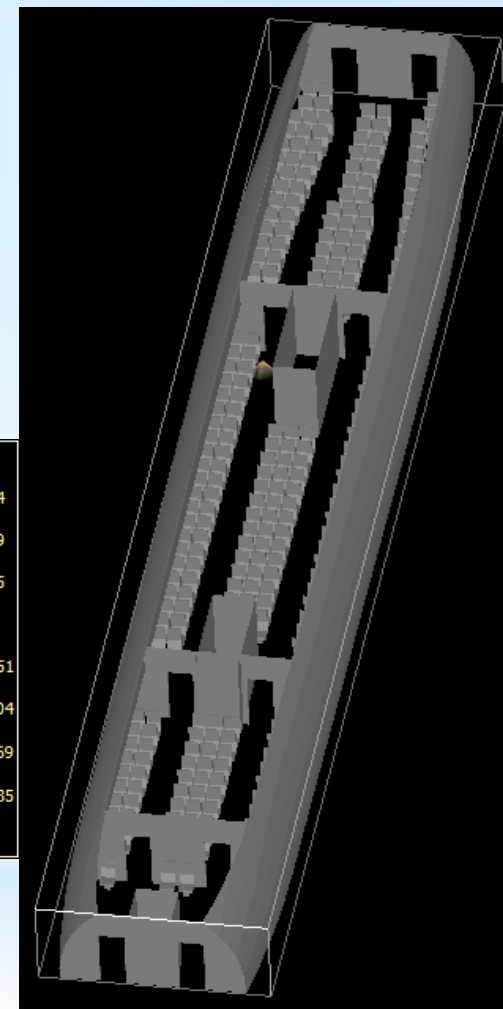
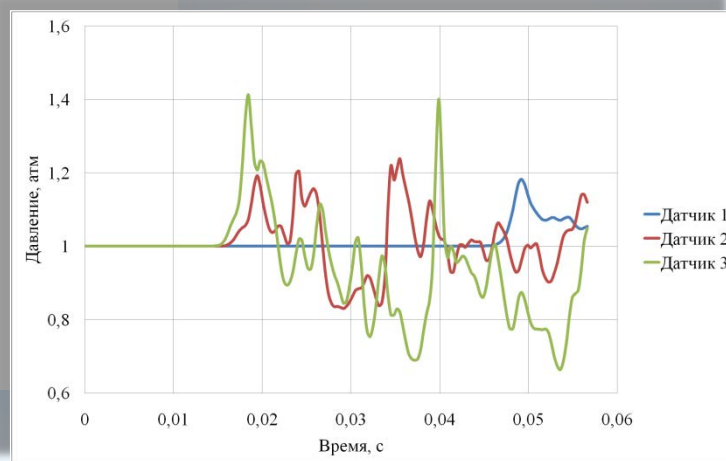
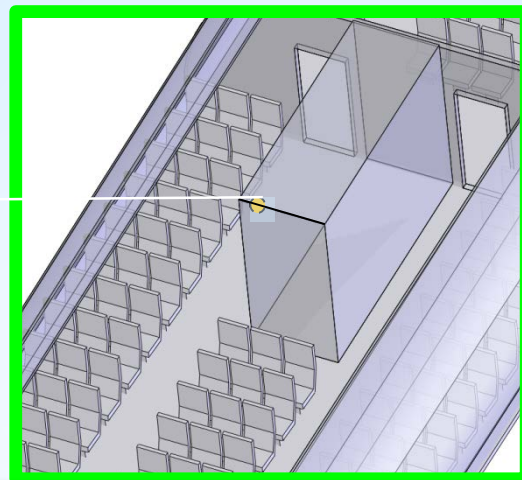
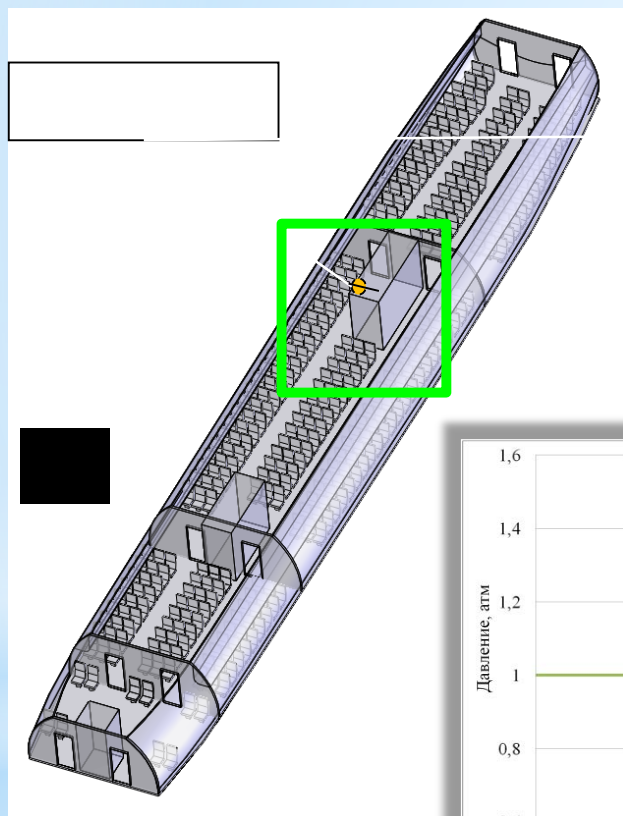


Ширина области смешения для различных показателей степени  $n$  и чисел Атвуда.



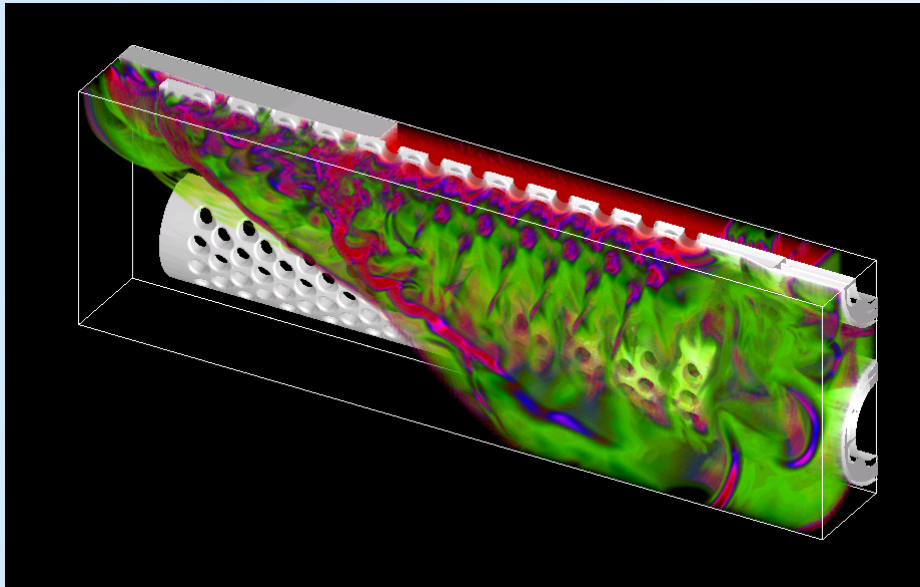
Спектр кинетической энергии для различных показателей степени  $n$  и чисел Атвуда.

# \* Гражданская оборона: взрывы около и внутри транспортных средств (Зибаров А.В. Лаб 4.1.1.)

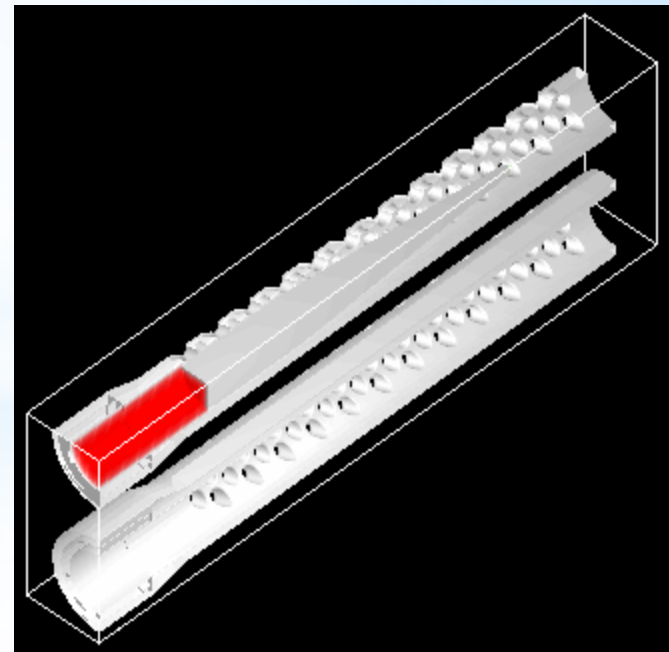
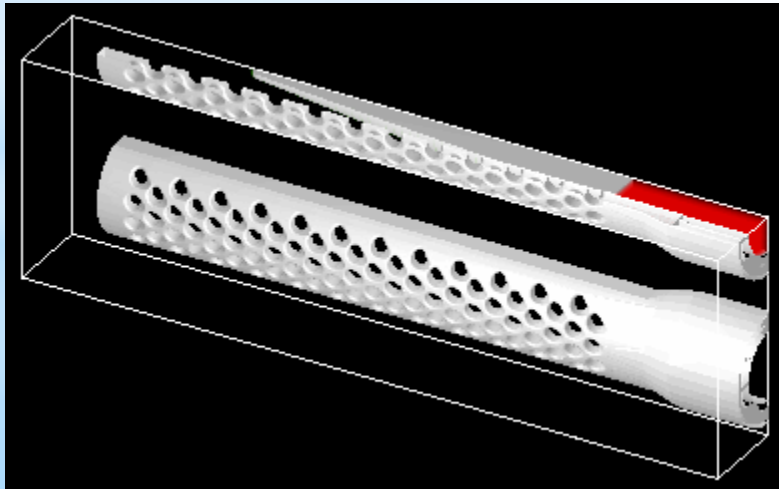


Моделирование подрыва заряда ТНТ в салоне самолета Ил-86. Распределение давления

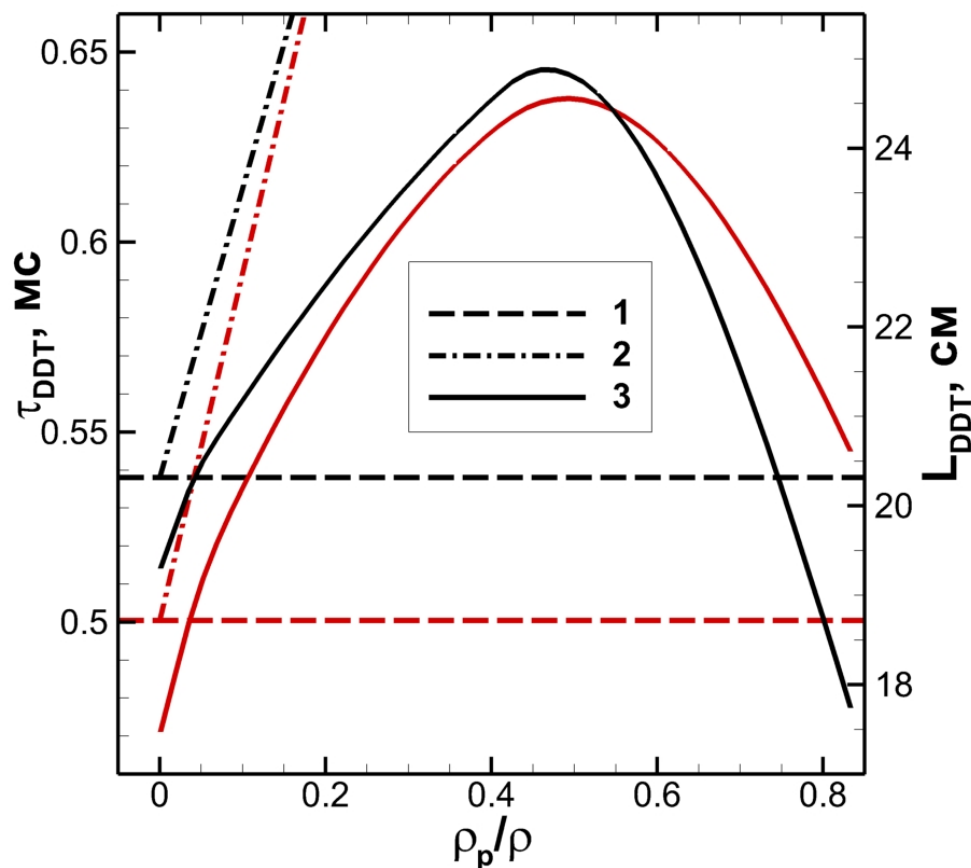
# \* Оборонная промышленность: многоствольные артиллерийские системы (Зибаров А.В. Лаб 4.1.1.)



Работа двуствольной артиллерийской системы. Распределение давления при прохождении снаряда в верхнем стволе



# Горение и детонация в многофазных реагирующих средах



Время (красные линии) и дистанция (черные) перехода к детонации в водород-кислородной смеси с различными массовыми концентрациями химически нейтральных (2) и энергоактивных (3) микрочастиц. Штриховые прямые (1) – значения параметров перехода к детонации в смеси без частиц.

(Лаб. №4.3.1 НИЦ-4 ОИВТ РАН, зав. отд., д.ф.-м. н. М.Ф. Иванов, с.н.с., к.ф.-м.н. А.Д. Киверин, м.н.с. И.С. Яковенко, тел. (495)4844433)

# Исследование структуры и устойчивости около- и сверхзвуковых пламен в каналах

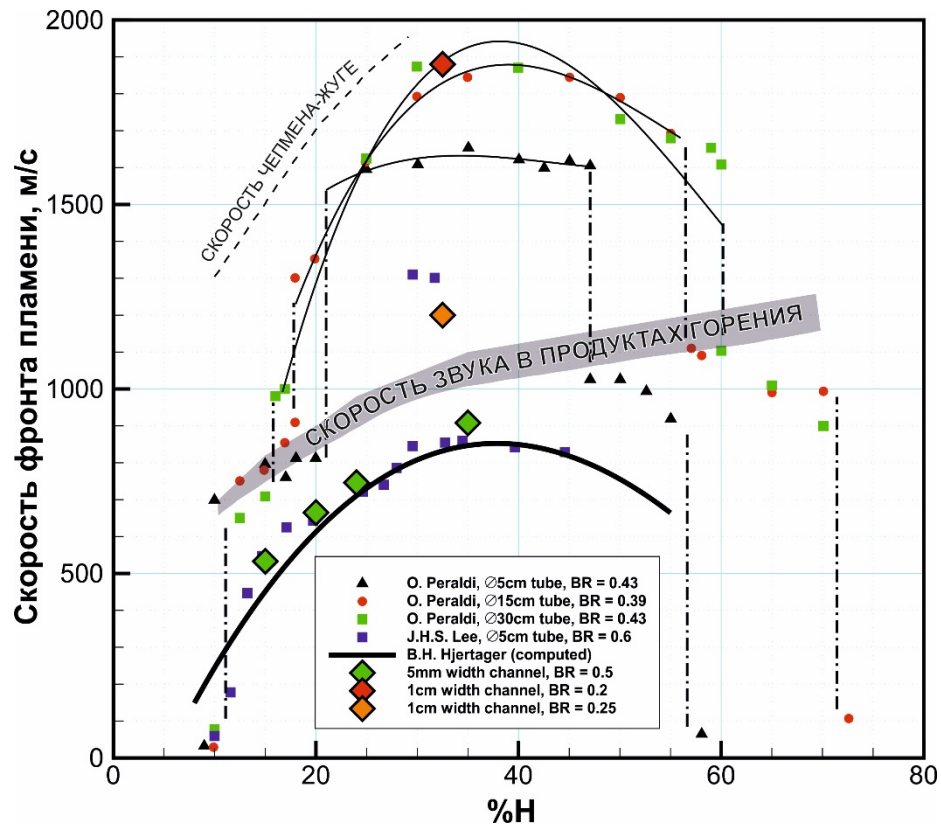
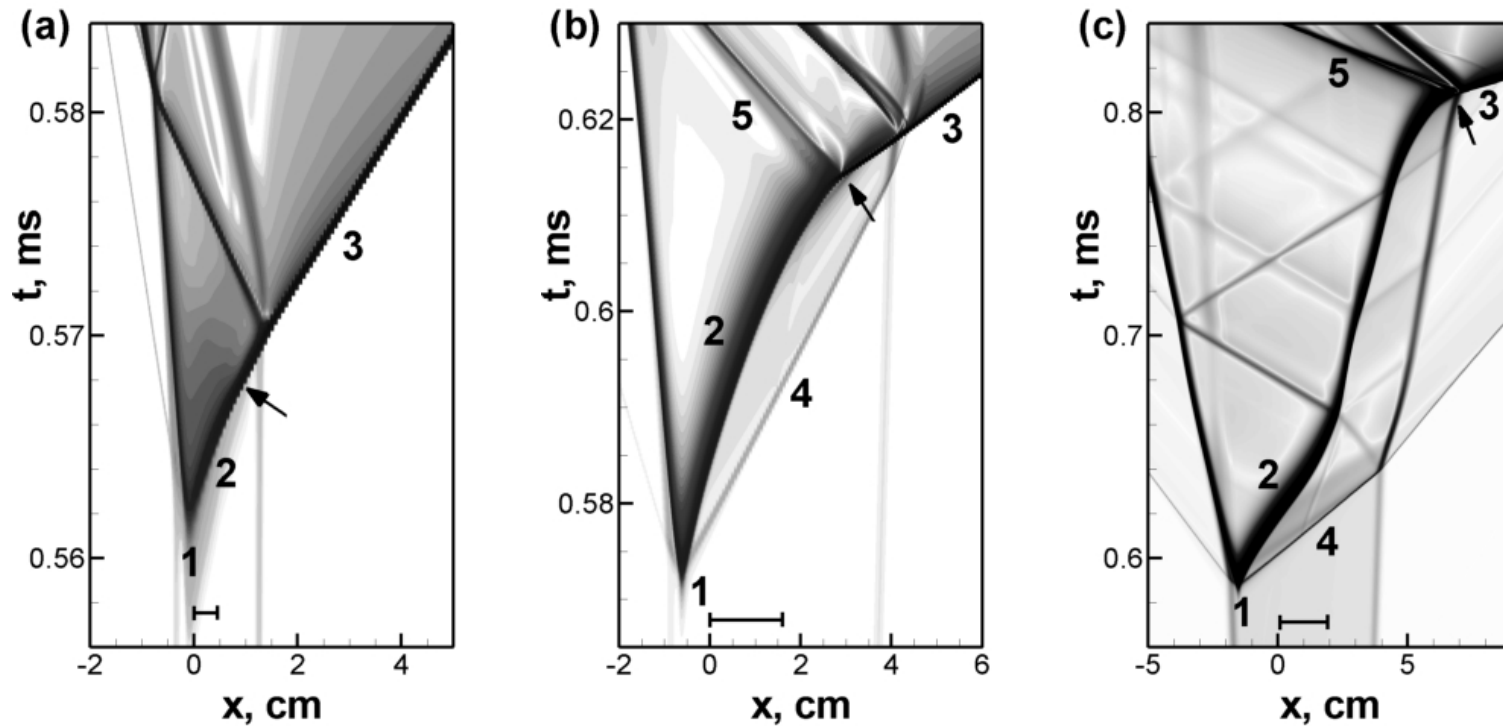


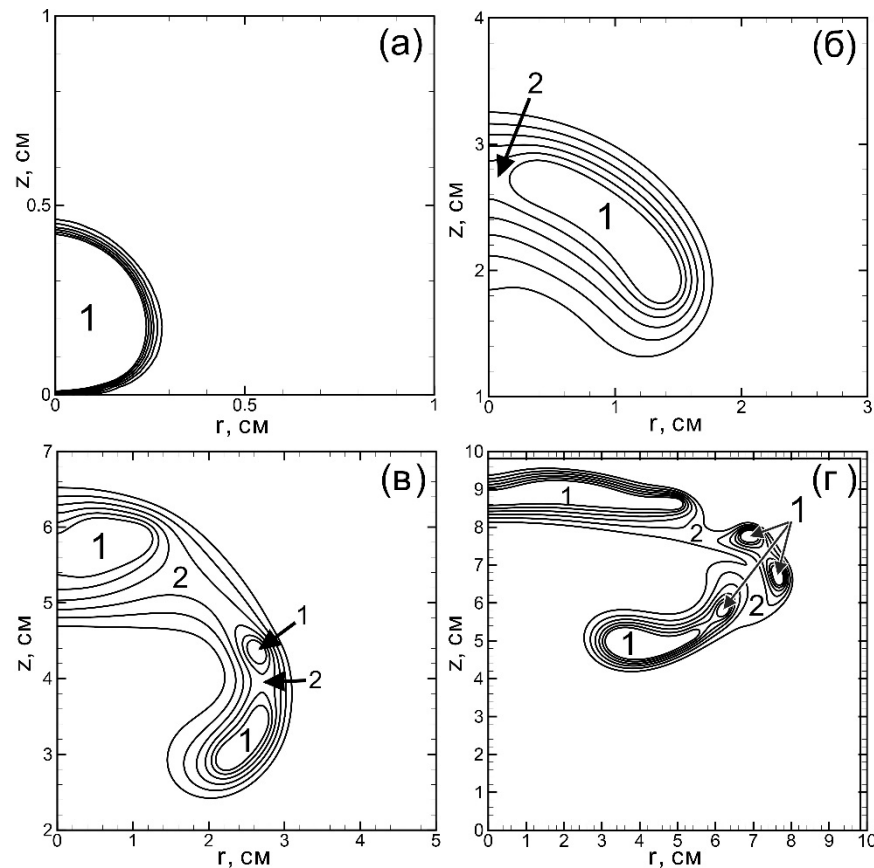
Диаграмма режимов распространения волн горения в каналах, заполненных водородно-воздушными смесями различного состава. Крупные ромбы – данные расчетов. Так же на рисунке представлены экспериментальные данные и расчеты, представленные в одной из предшествующих работ.

# Тепловой взрыв в газообразной дисперсной среде при лучистом нагреве от внешнего источника

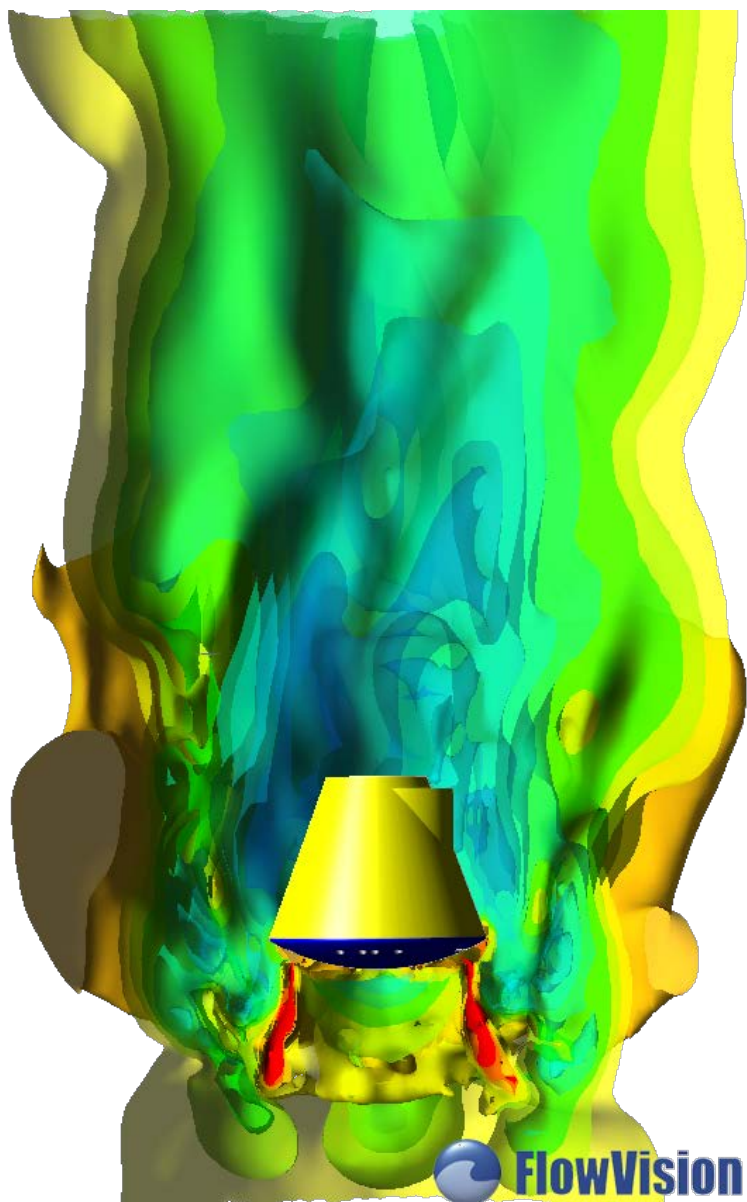


Волновые картины развития процесса инициирования детонации в результате развития нестационарного теплового взрыва внутри нагретого двухфазного слоя с длиной пробега излучения  $L=3.33\text{см}$ . (a) – прямое инициирование детонации в слое начальной толщины  $0.5\text{см}$ ; (b) – инициирование детонации в результате развития переходного процесса в слое начальной толщины  $1.7\text{см}$ ; (c) – инициирование детонации в результате взаимодействия волны горения и переотраженных ударных волн в слое начальной толщины  $2.0\text{см}$ . 1 – первичный очаг, 2 – волна реакции, 3 – волна детонации в свежей газовой смеси, 4 – ударная волна, 5 – волна ретонации. Стрелкой показана точка возникновения детонации, горизонтальный штрих показывает начальную толщину слоя.

# Исследование особенностей развития волн горения в смесях обедненных составов



Структура всплывающего в гравитационном поле очага горения водородно-воздушной смеси с концентрацией водорода 6% при различных стадиях развития очага горения в ограниченном объеме: иницирование вблизи нижнего торца; левая граница — ось симметрии; 1 — область очага химической реакции; 2 — область затухания горения.



**Вычислительная  
инженерная платформа  
Flow Vision**

(входит в 3 лучших в России)

**ОИВТ РАН**

**Московский физико-  
технический институт**

**Государственный ракетный  
Центр им. В.П.Макеева**



# CAE-система – завтрашний уровень

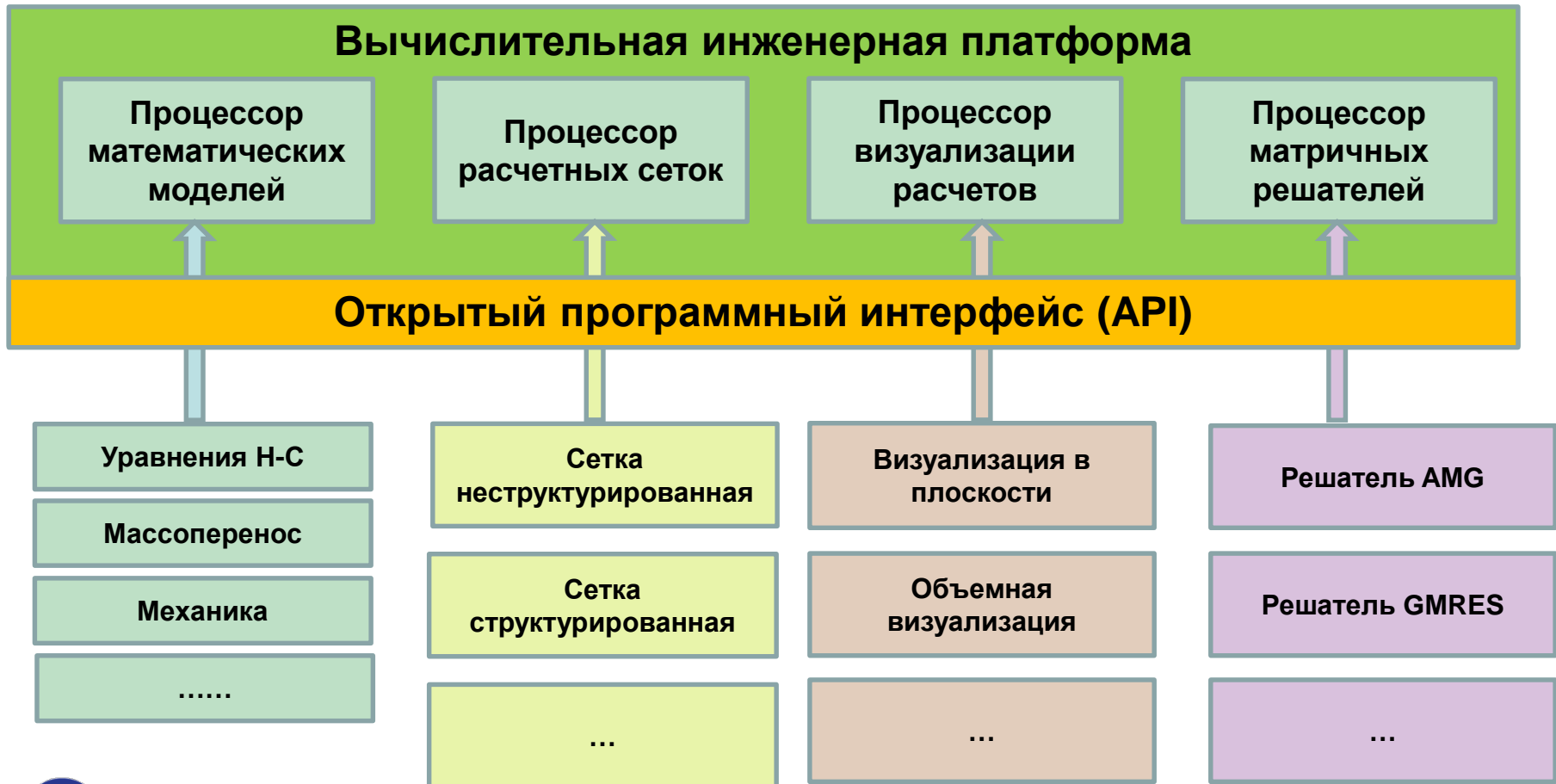
Вычислительная инженерная платформа (ВИП) – платформа для коллективного создания и лицензирования универсальной CAE – системы



# Вычислительная инженерная платформа

Вычислительная инженерная платформа:

- Открытый программный интерфейс (API) для подключения различных компонент CAE-системы
- Расчеты с использованием суперкомпьютерных ресурсов
- Разработчик создает не модули, а методы управления соответствующим процессором ВИП через его API.



# Цели создания ВИП

Обеспечить ускоренное **инновационное развитие отечественной промышленности** за счет внедрения в ее современных средств автоматизации инженерных расчетов.

Обеспечить **импортозамещение и импортоопережение** с помощью отечественных средств автоматизации инженерных расчетов.

Сохранить **научные разработки отраслевых институтов** и дать им новый импульс развития на базе отечественной платформы автоматизированных инженерных расчетов.

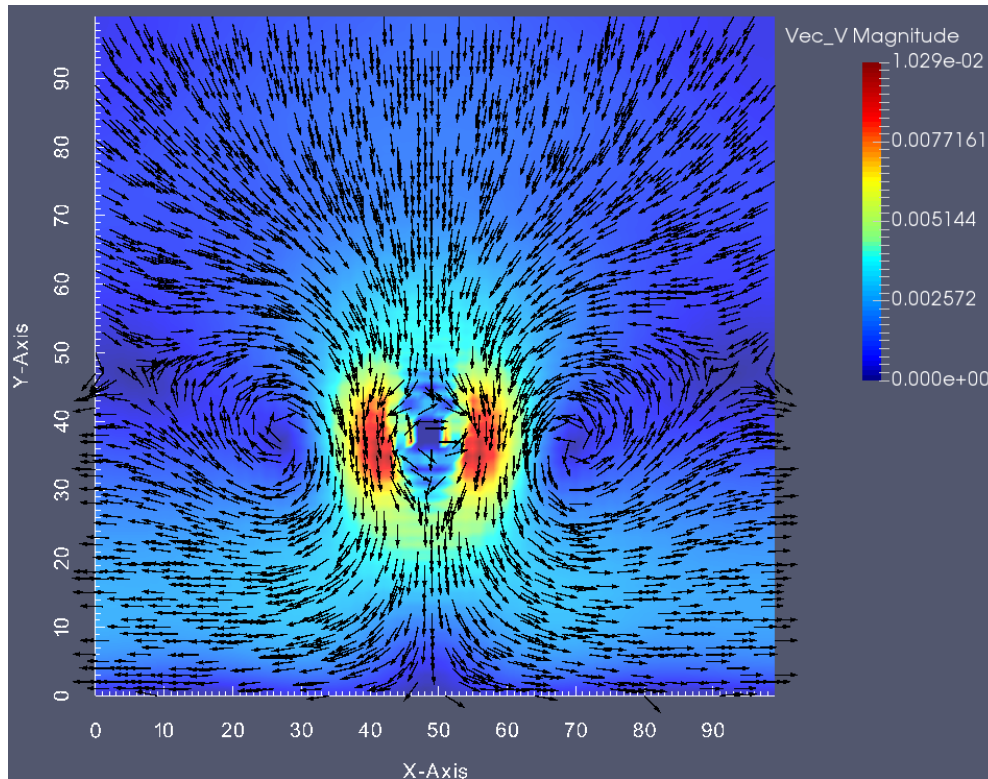
Получить синергетический эффект от **массовой вовлеченности разноплановых специалистов в развитие Вычислительной Инженерной Платформы**, что обеспечит ее масштабируемую разработку.

Повысить **эффективность обучения студентов** и аспирантов современным методам математического моделирования физических процессов и проектировании новой техники и изделий.

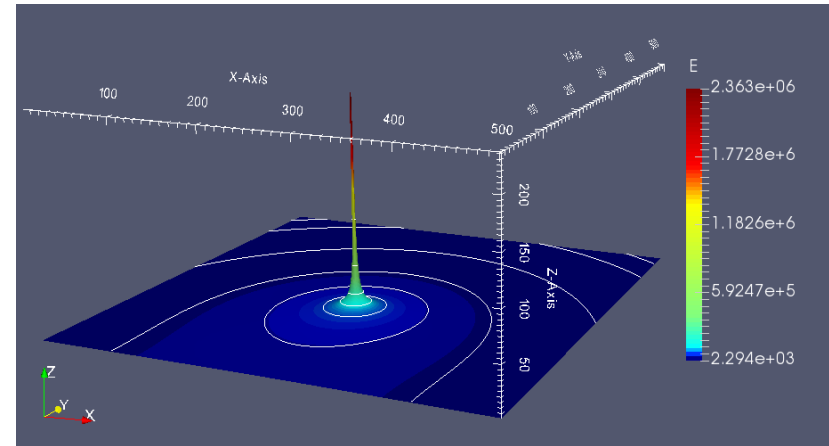
Создать **цифровой стенд** для проектирования и отработки гиперзвуковой летательной техники

# Электроэнергетика

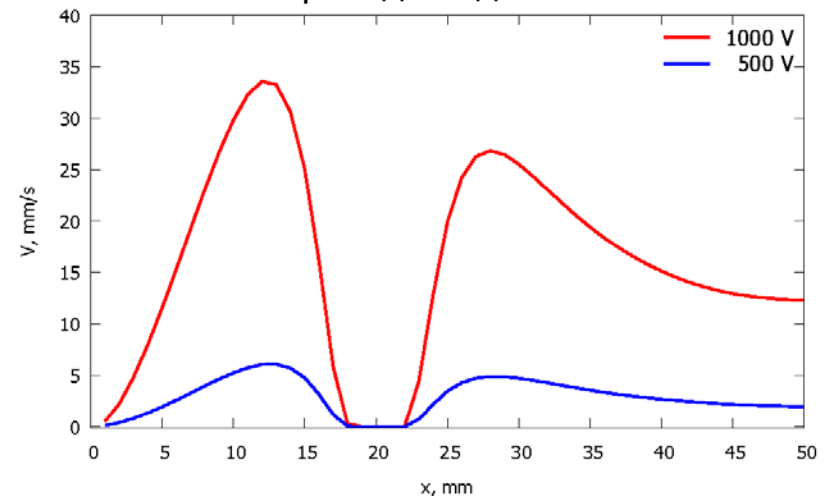
# Предпробойные течения трансформаторного масла



Линии тока стационарных предпробойных течений трансформаторного масла, обусловленных системой высоковольтных электродов «провод над плоскостью». Напряжение - 500В, межэлектродное расстояние 2см.



Напряженность электрического поля в системе «провода над плоскостью».

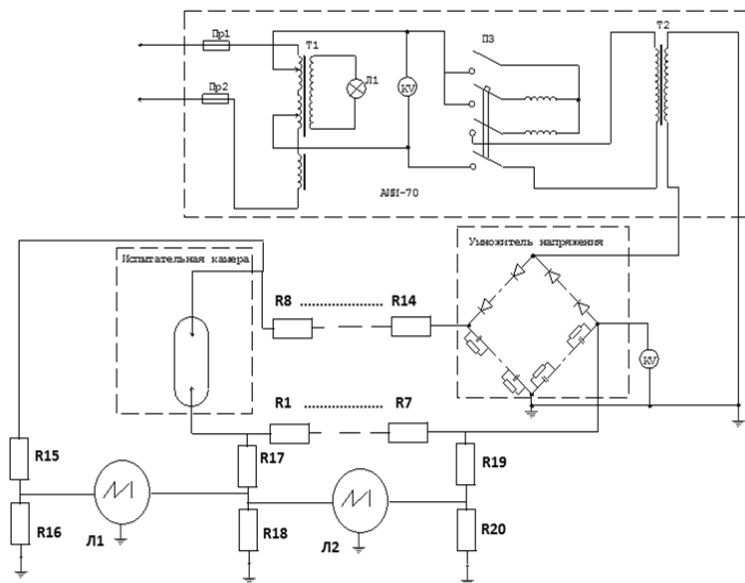


Распределение скорости движения жидкости на линии провод-плоскость при различном межэлектродном напряжении.

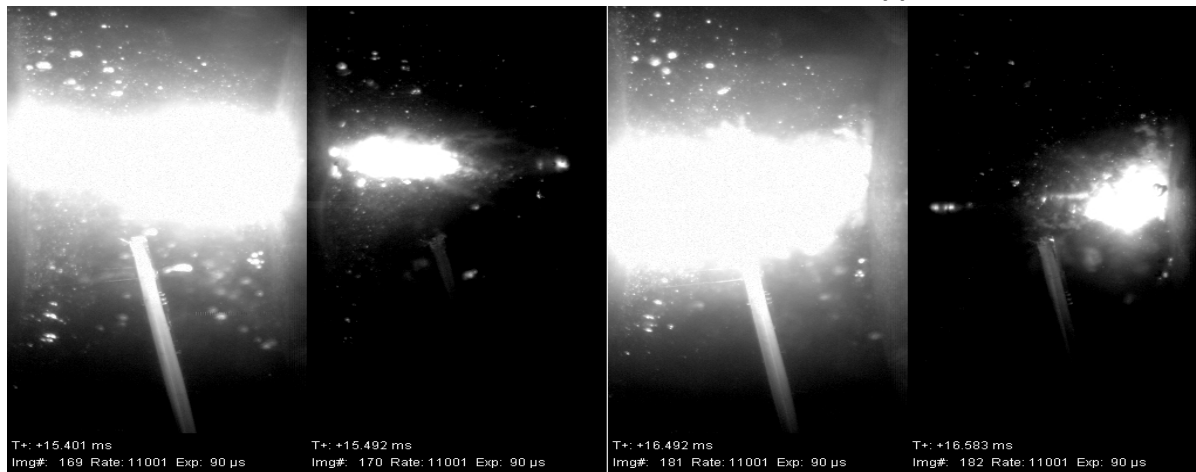
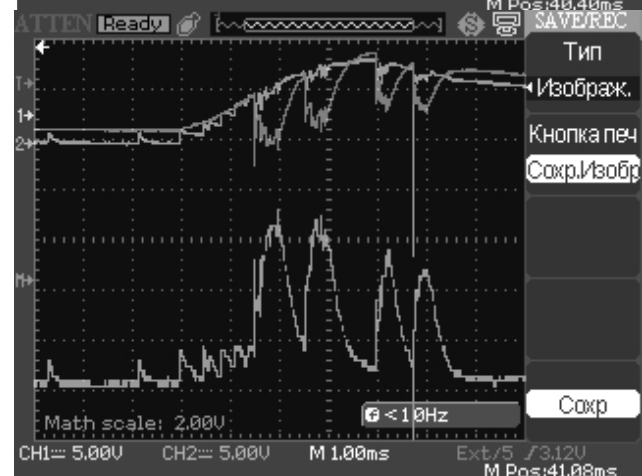
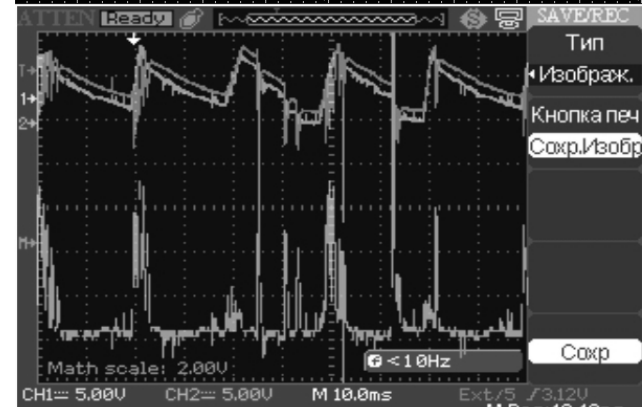
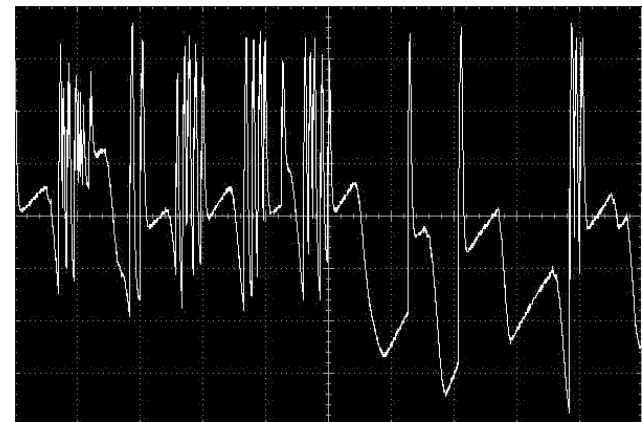
# Исследование пробоя трансформаторного масла с пузырьками газа



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
УСТАНОВКА**



**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА  
СТЕНДА**



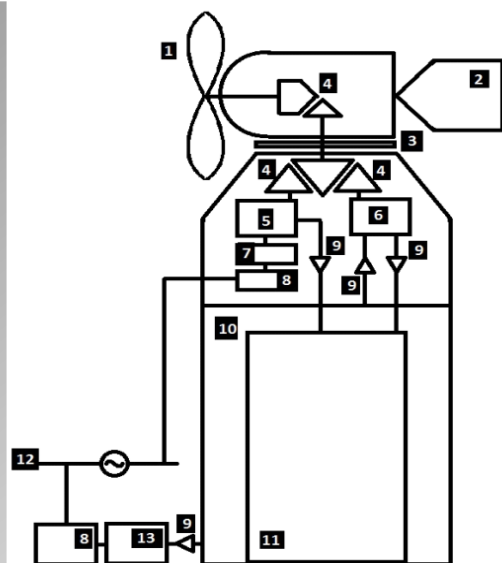
**ПРОБОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА**

## Ветро дизельные станции с накопителем энергии и переменным числом оборотов” (Программа РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития арктической зоны РФ»)

Задача сверх актуальна для России для повышения экономичности, энергетической и экологической безопасности энергоснабжения в удаленных изолированных пунктах России и снижения объемов Северного Завоза (до 1 млн т в год с экономией до 50 млрд рублей).

Обоснованные научно-технические эффективные решения и практический опыт использования источников энергоснабжения на базе совмещения ВЭУ и систем пневматического аккумулирования энергии в России и мире отсутствуют.

В 2015 г. проведены научно-техническое обоснование, разработка функциональной и рабочей схемы автономного бестопливного источника гарантированного энергоснабжения (БИГЭН) на базе ветроагрегатов и систем пневматического аккумулирования и преобразования энергии с использованием сжатого воздуха в качестве энергоносителя.



- 1 – высокомоментное ветроколесо
- 2 – хвостовое устройство, либо заменяющий хвост поворотное устройство
- 3 – поворотное колесо
- 4 – механические редукторы
- 5 – компрессор низкого давления 1-1.5 МПа
- 6 – бустер 10-15 МПа
- 7 – высокооборотная турбина (до 100000 об./мин)
- 8 – электрогенераторы
- 9 – саморегулирующиеся пневморедукторы
- 10 – ресивер низкого давления 1 - 1.5 МПа
- 11 – ресивер высокого давления 10 - 15 МПа
- 12 – электросеть потребителя
- 13 – инвертор

Схема разрабатываемого БИГЭН и его основных элементов

# Разработка макетного образца и методики исследования ДГ с переменной частотой вращения для Арктики



Дизельный генератор

Пульт управления

В качестве объекта исследований выбран ДГ KDE12000EA3 фирмы Kipor.

Основные технические характеристики ДГ: мощность макс., кВА/кВт - 11,0/8,8; частота, Гц - 50; номинальное число оборотов, об/мин - 3000; минимально допустимое число оборотов об/мин - 1300; число фаз - 3; номинальное напряжение (линейное), В - 400; сила тока, А - 14.4; количество фаз - 3; тип двигателя - Yanmar KD2V86F, двухцилиндровый, 4х-тактный; тип охлаждения - воздушное; бак, л - 25; расход топлива, г/кВт\*час - 320; расход топлива, л/час - 2.4; кол-во цилиндров - 2.

**Экономия топлива от 15 до 30 %**  
Наибольшая экономия при нагрузке ~75% от номинальной  
Изменение ЭДС достигается изменением оборотов колен. вала дизеля. **Частота 50 Гц поддерживается преобразователем частоты!**

(Отд. №4.2 НИЦ-4 ОИВТ РАН, зав. отд., д.т.н. А.С. Тюфтяев, зав. лаб. к.ф.-м.н. М.Х. Гаджиев(495) 485-82-18)



# Статический тиристорный компенсатор регулирования активной и реактивной мощности

(РКОС Балашовская ПС, , рук. Шакарян Ю.Г.)



# СТК на Кирилловской ПС

Рук. Шакарян Ю.Г.



## **Управляющий шунтирующий реактор**

(Втор обм. тр-ра, кпд 98,5% ПС Светлая Зап. Сибирь, НТЦ, Тольяттинский з-д «Трансформатор») Рук. Шакарян Ю.Г.



# Монографии 2015

(опубликованные и направленные в печать)

- Смирнов Б.М. «Theory of Gas Discharge Plasma», Springer 2015.
- Смирнов Б.М., Крайнов В.П. «Квантовая теория излучения атомных частиц» Изд-во «Интеллект», 2015.
- Иосилевский И.Л., Сон Э.Е., Фортов В.Е. «Термодинамика и транспорт в неидеальной плазме», Физматлит, 2016.
- Дегтярь В.Г., Сон Э.Е. «Теплообмен и плазменные явления у гиперзвуковых ЛА», Янус-К, 2106.
- Фортов В.Е., Сон Э.Е. «Высоковольтное маслонеполненное оборудование в энергетике»
- Сон Э.Е. «Введение в механику сплошных сред», Интеллект, 2016.
- Son E.E. «Physical Mechanics. Vol. \2. Theory», Begell House.

*Спасибо за внимание!*