

# **Физика плазмы и нанотехнологии**

**А.Х. Гильмутдинов  
Министр образования и науки РТ  
Член-корр. АН РТ**

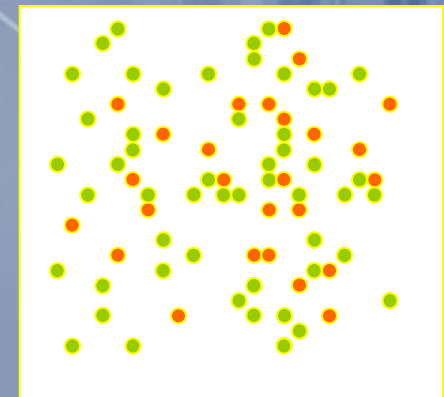
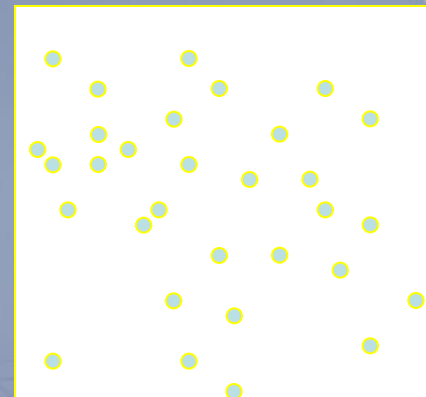
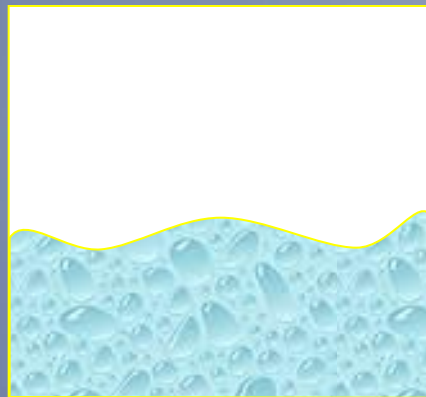
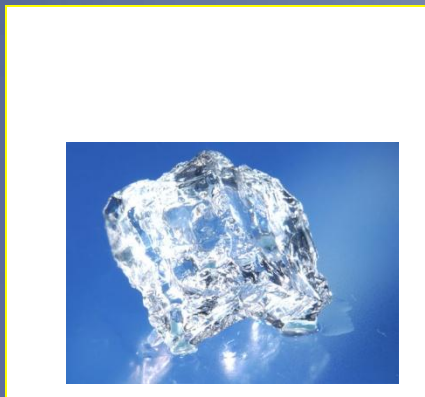
# Состояния вещества

твердое

жидкое

газ

плазма



0

100

1000



T

Плазма – частично или полностью  
ионизованный газ

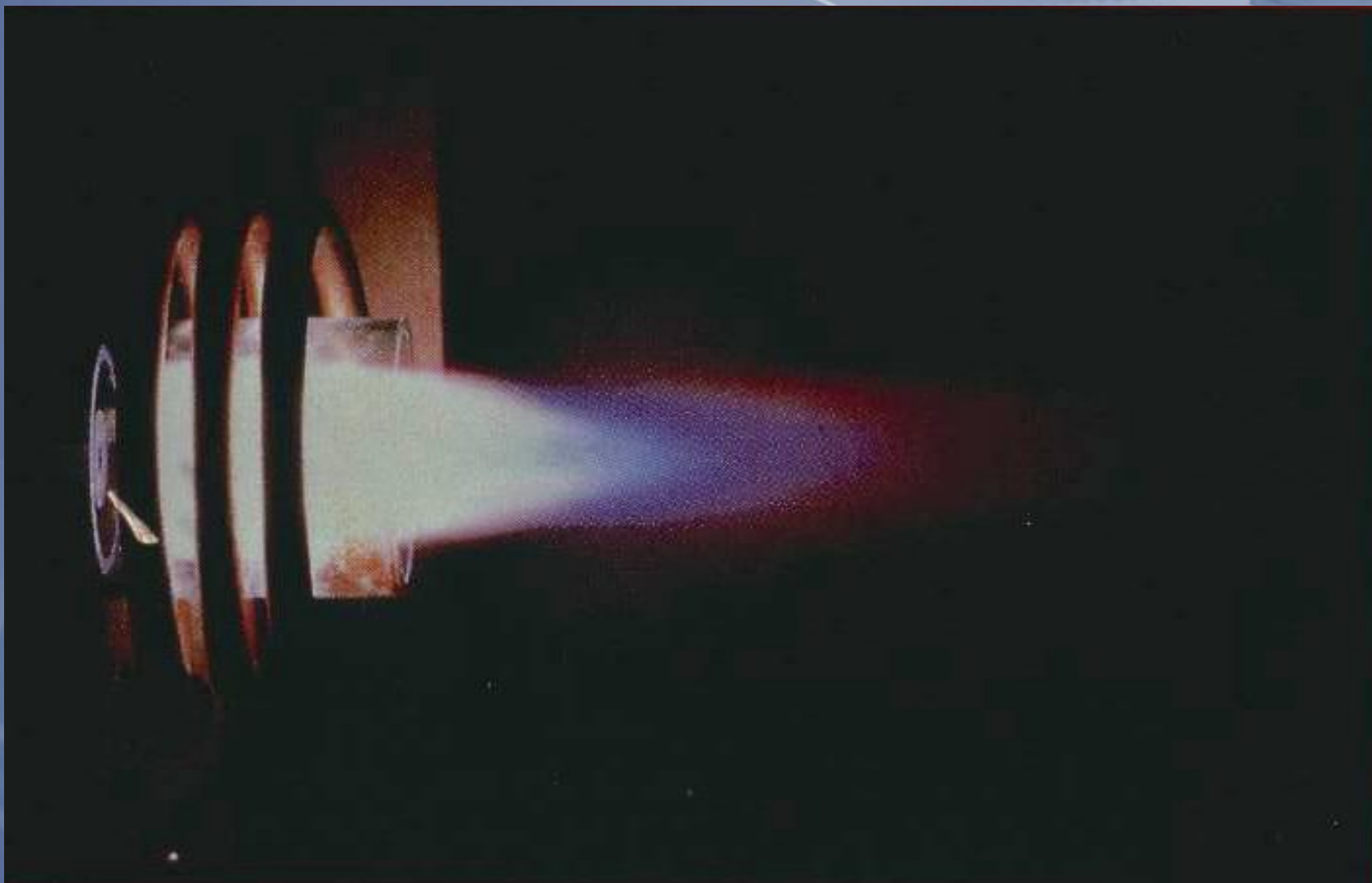
# Плазма в природе



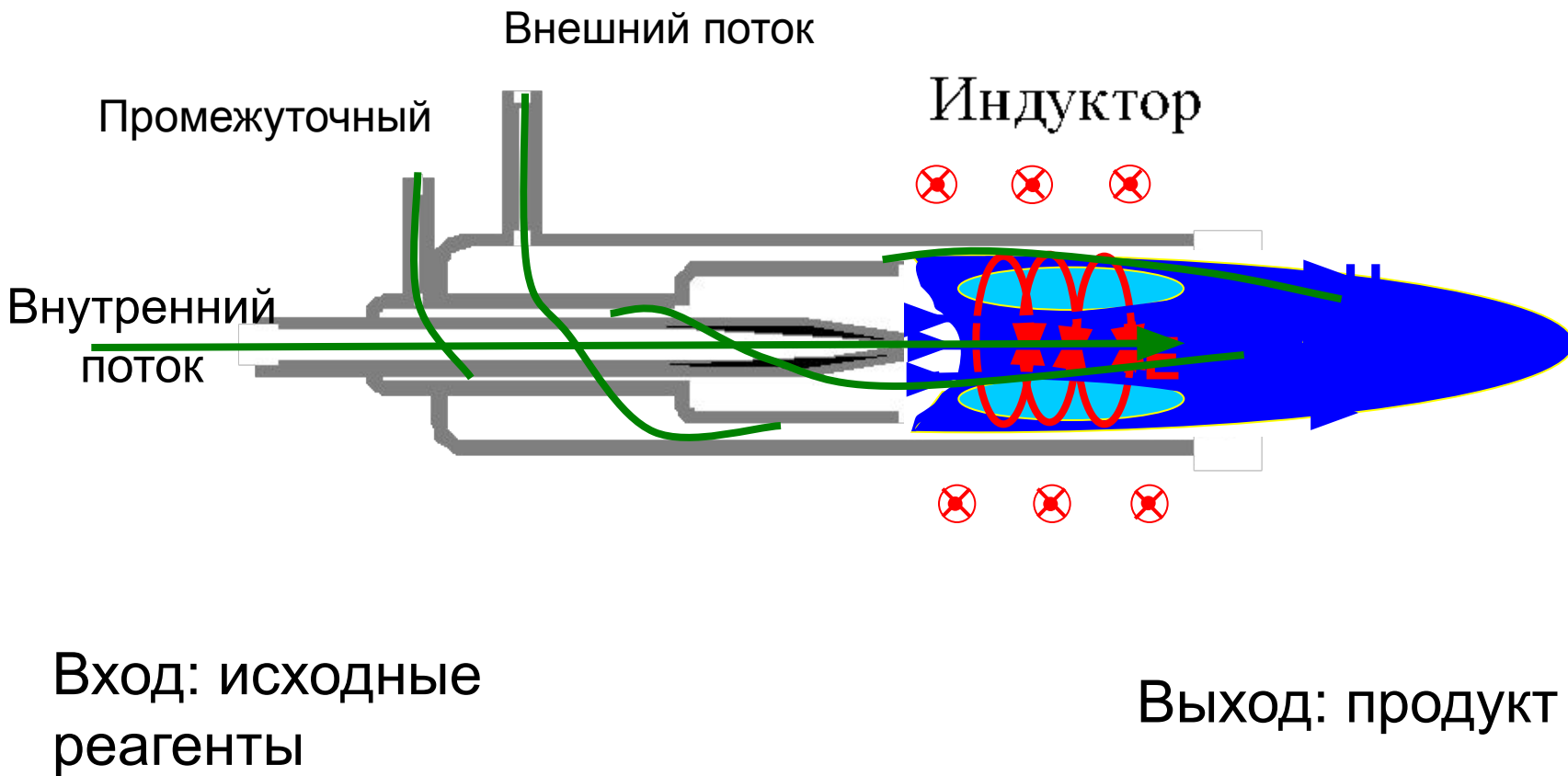
# «Искусственная» плазма



# Индуктивно-связанная плазма



# Индуктивно связанная плазма принцип действия

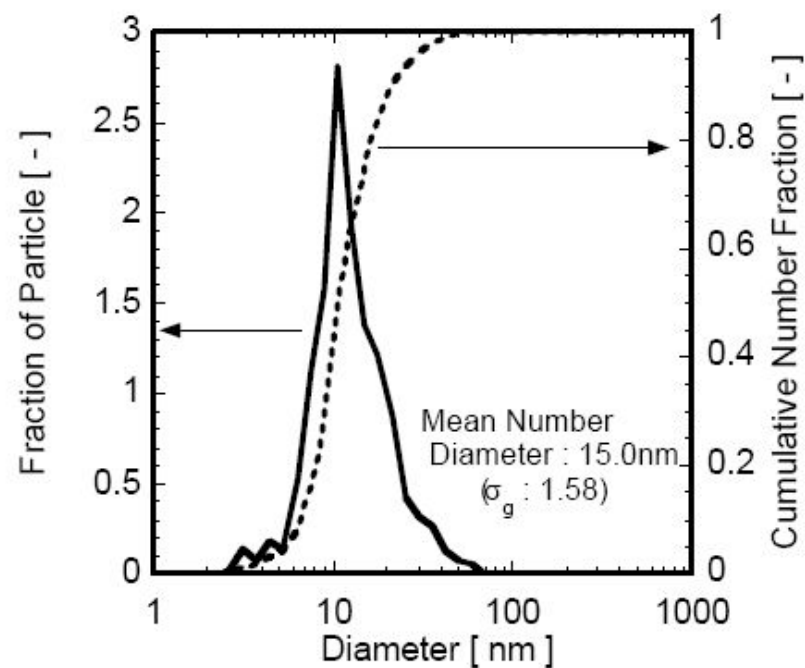
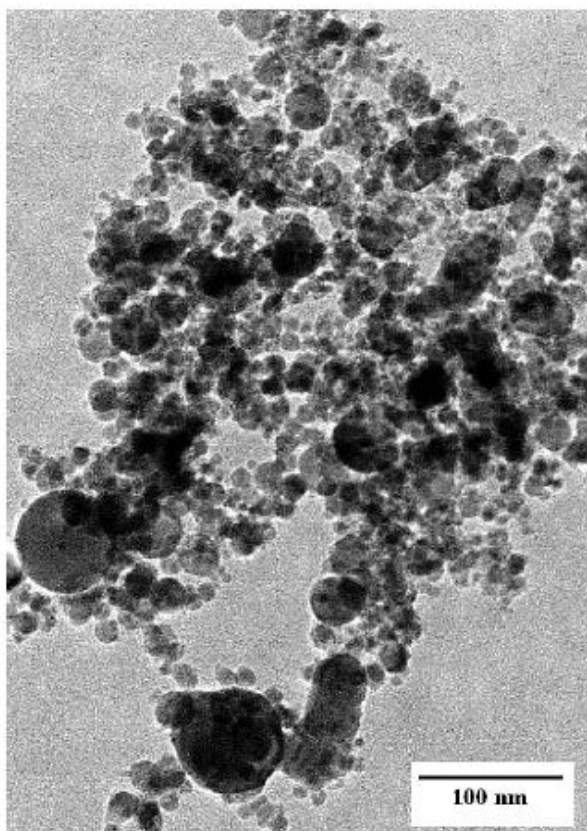




# Синтезируемые наночастицы

- Сверхчистые металлы
- Оксиды
- Нитриды
- Бориды
- Карбиды
- И т.д.

# Наночастицы $\text{La}_2\text{O}_3$ , синтезированные в индуктивно-связанной плазме

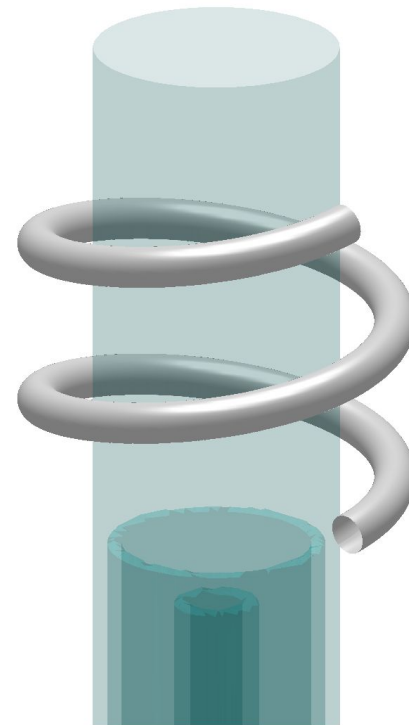




# Описание электромагнитных полей

Уравнения Максвелла

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right.$$



# Газовая динамика: система уравнений Навье-Стокса

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{u} = 0$$

continuity equation

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{u} \mathbf{u} = \rho \mathbf{g} - \nabla p + \operatorname{div} \mathbf{P}_{visc}$$

momentum equation

$$\frac{\partial \rho I}{\partial t} + \operatorname{div} \rho I \mathbf{u} = W_{el} - W_r + \operatorname{div} \left( \frac{\lambda}{c_V} \nabla I \right) + (\mathbf{P} \cdot \nabla \mathbf{u})$$

energy  
equation

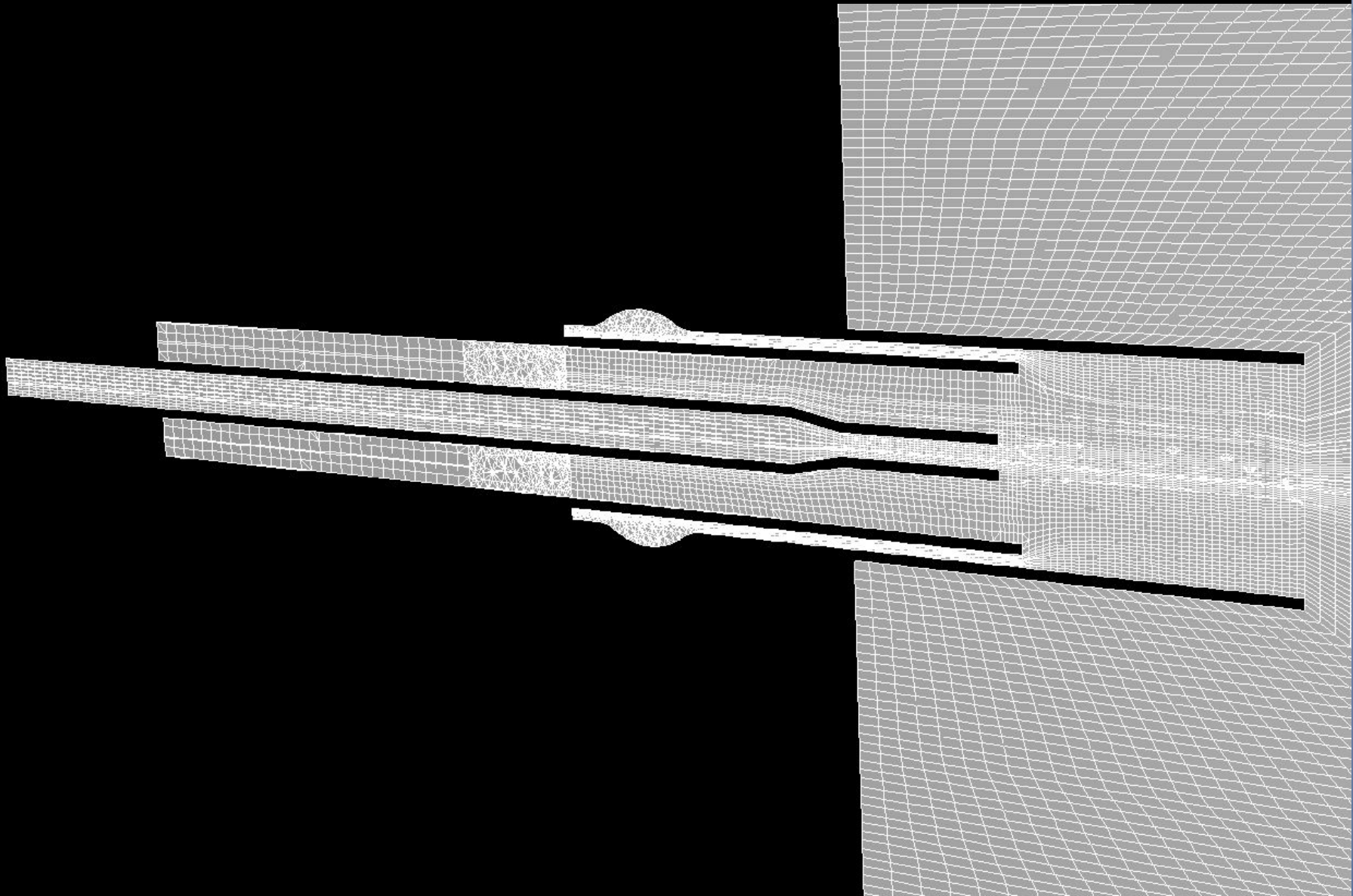
$$p = (\gamma_{act} - 1) \rho (I - I_{noact}(I))$$

constitutive equation

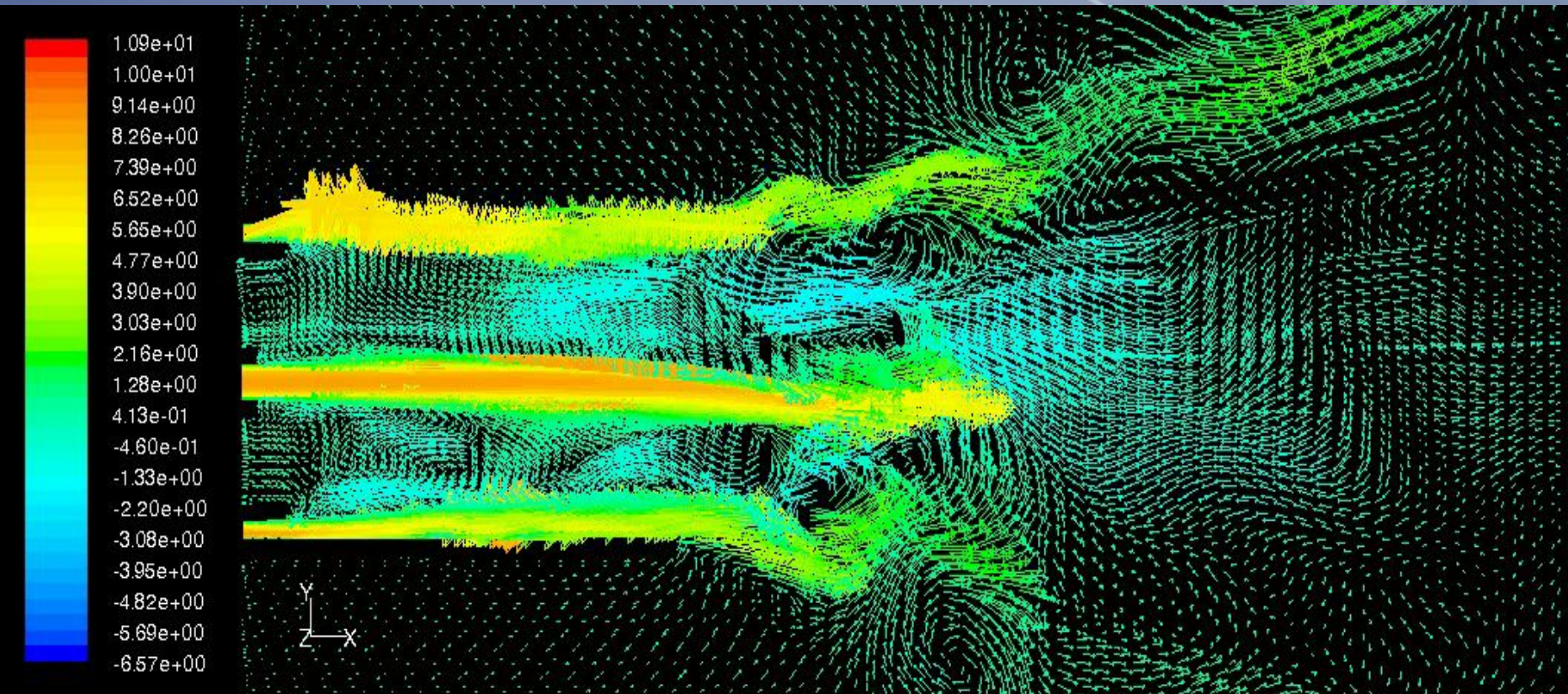
$$\mathbf{P}_{visc} \equiv \{\tau_{ij}\} = \left\{ -\frac{1}{3} \mu e_{kk} \delta_{ij} + \mu e_{ij} \right\} \quad \mathbf{P} = -p \{\delta_{ij}\} + \mathbf{P}_{visc}$$

Where is  $W_{el}$  — Joule heat, and  $W_r$  — radiant loss

# Геометрия плазменного реактора



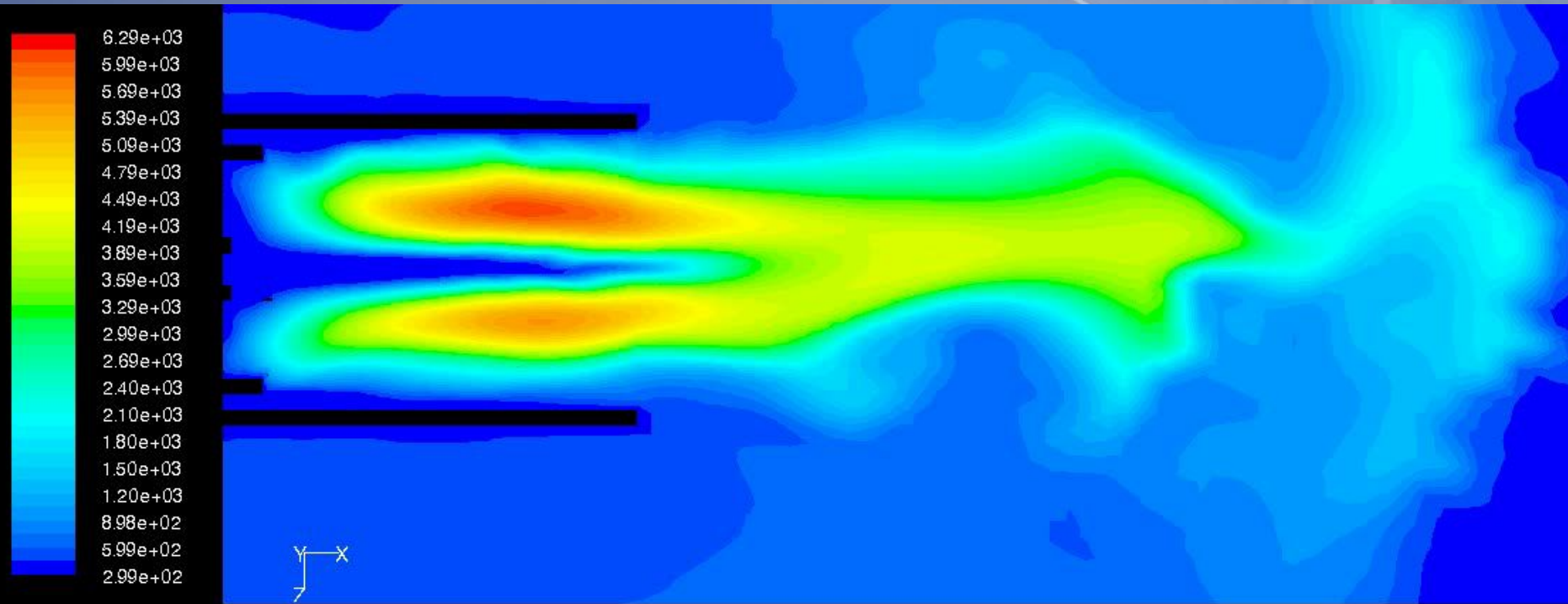
# Динамика поля скоростей



Velocity Vectors Colored By X Velocity (m/s) (Time=1.9715e+00)

Mar 28, 2007

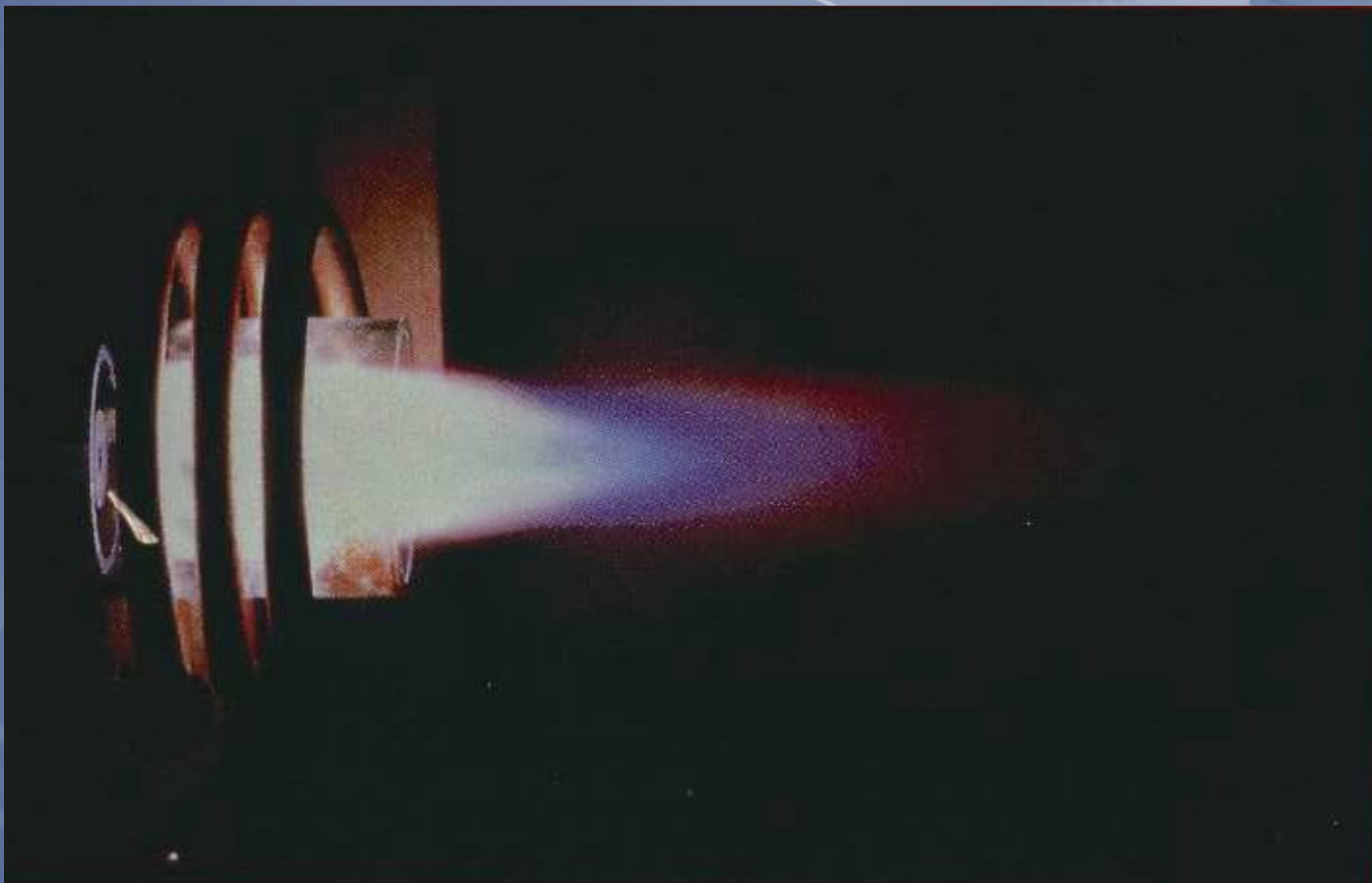
# Динамика температурных полей



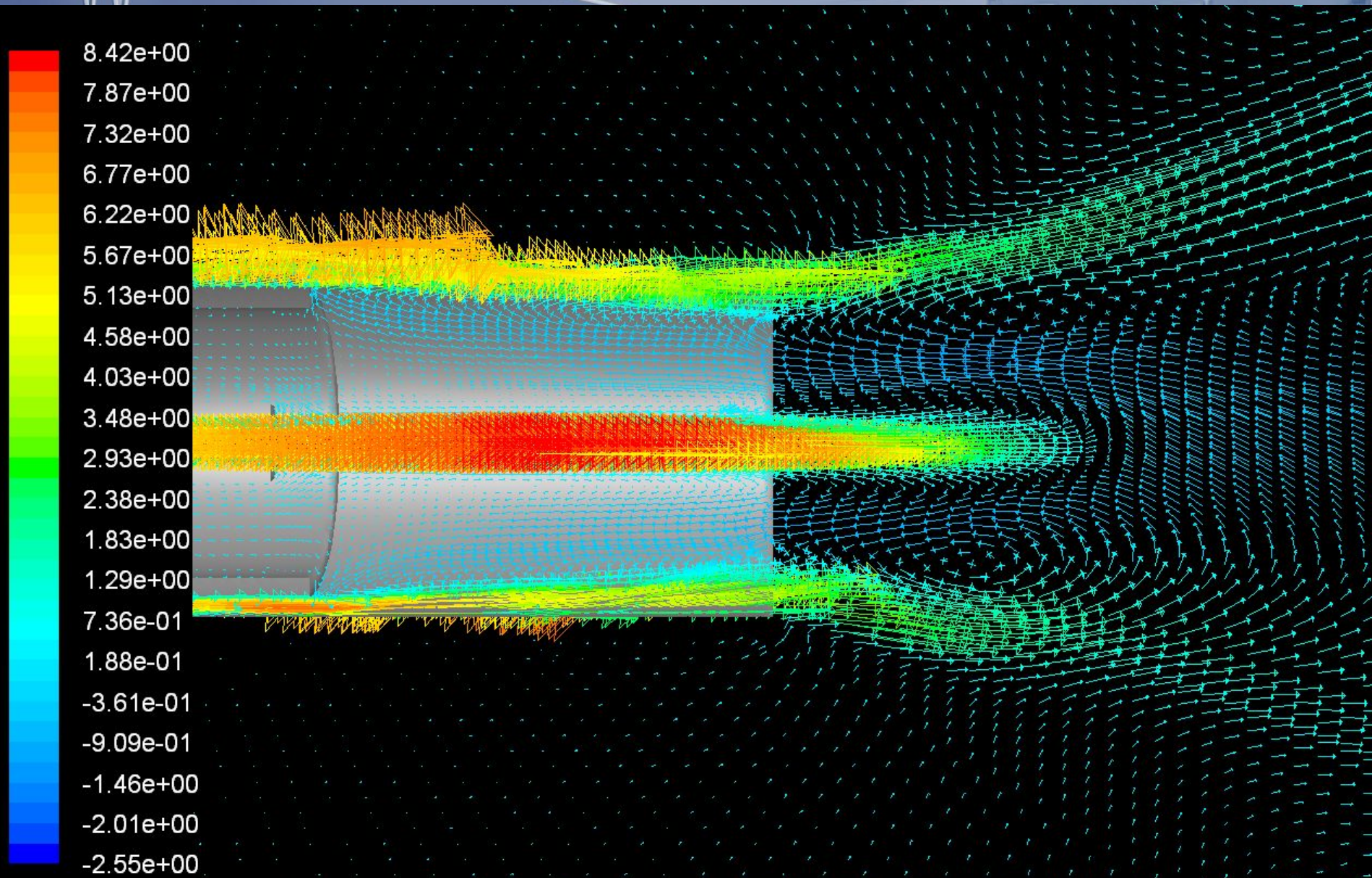
Contours of Static Temperature (k) (Time= $6.0652 \times 10^{-1}$ )

May 29, 2007

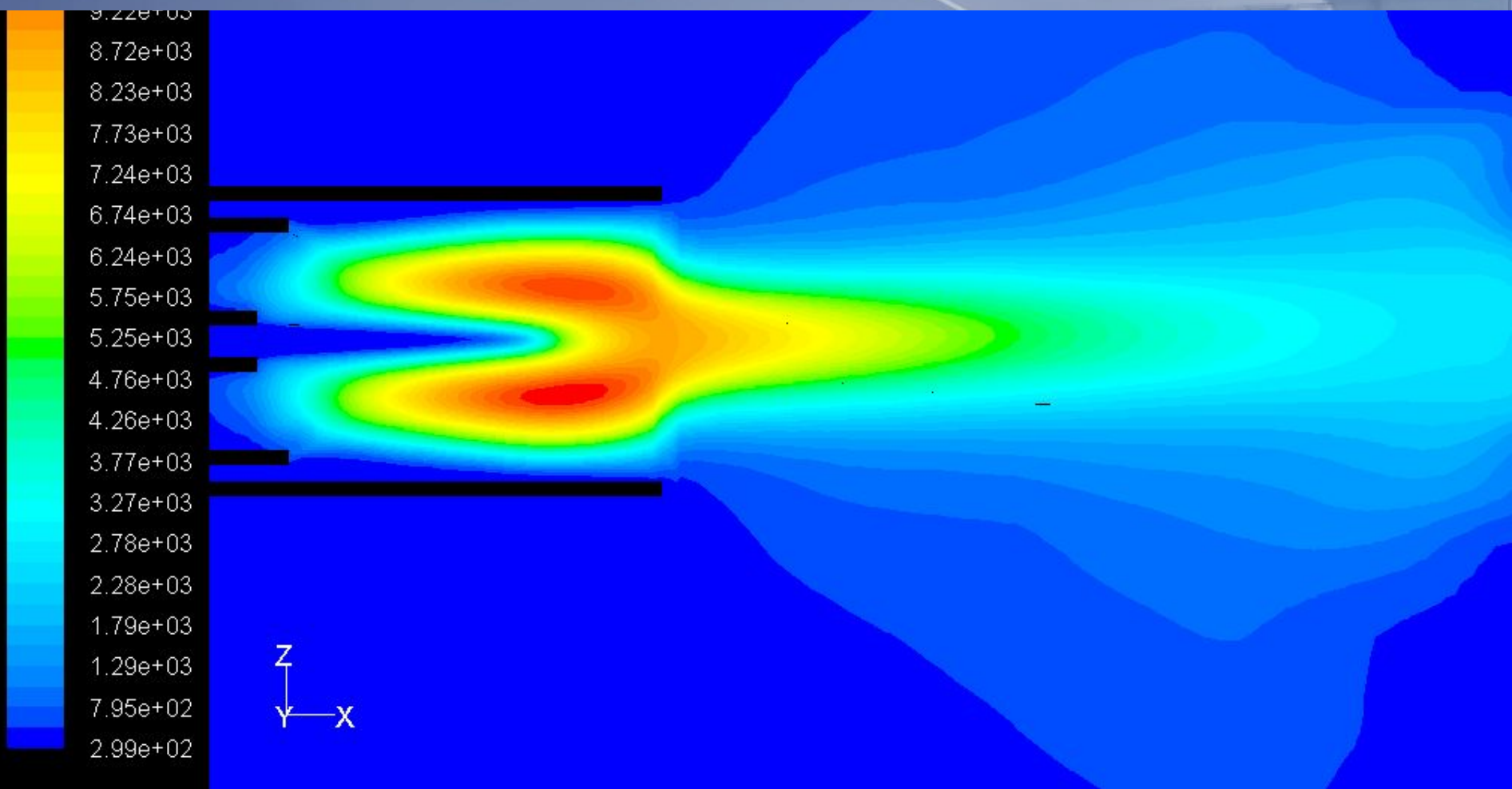
# Индуктивно-связанная плазма



# Усредненные поля скоростей



# Усредненные температурные поля





# Физика и техника плазмы в Республике Татарстан

Технологическая ИСП

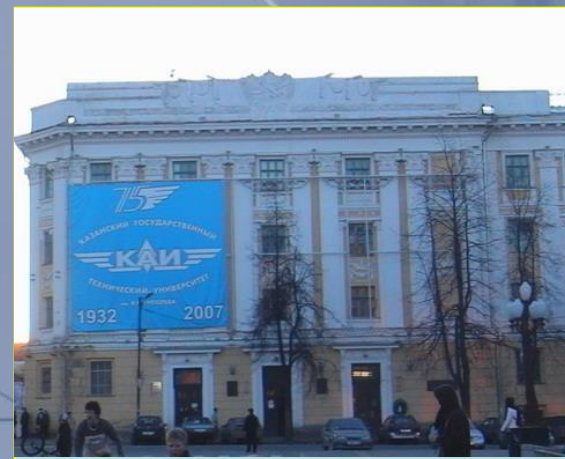


Нанодисперсные  
порошки

Фундаментальные  
исследования

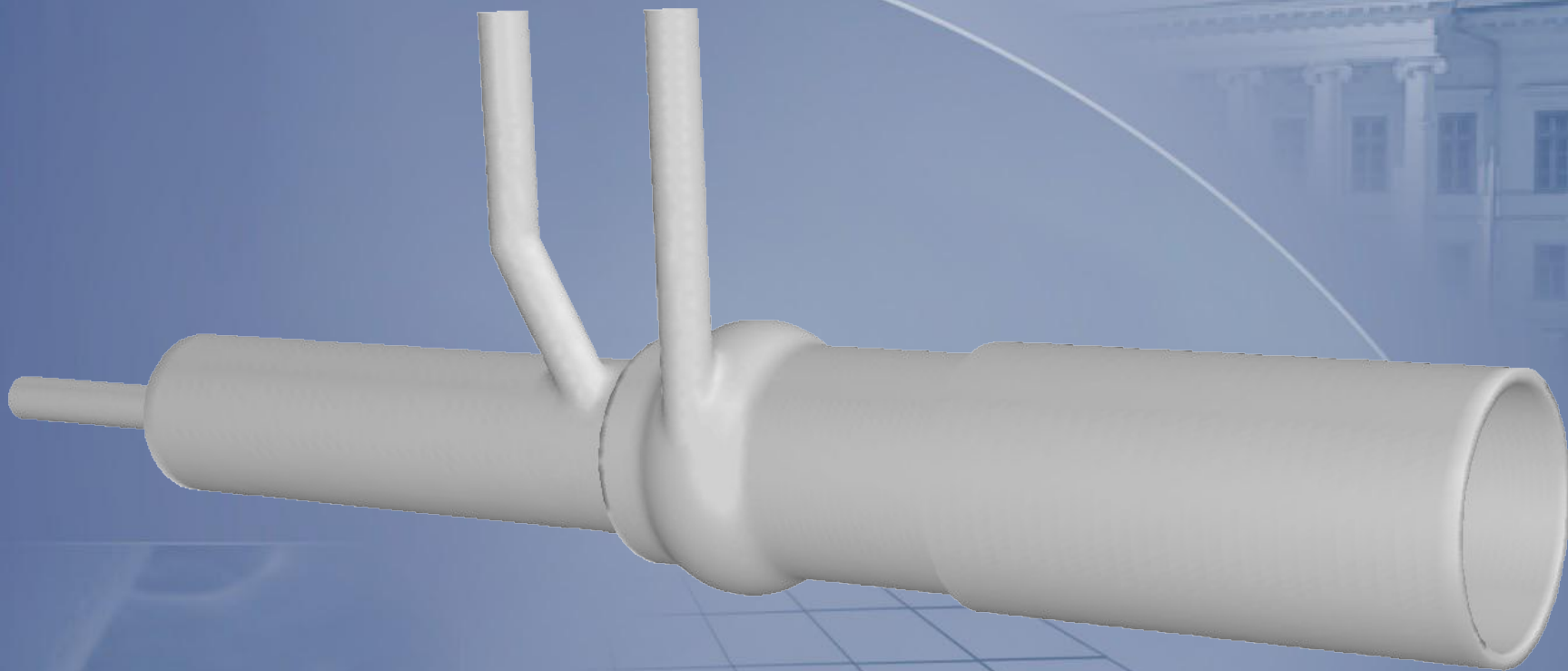


Дуговой  
плазмотрон




фуллерены,  
углеродные  
нанотрубки

# Виртуальный плазмохимический реактор:



**точная цифровая копия  
- реплика -  
реального реактора**



# Новая философия современных исследований:

Вычислительный эксперимент



реальный эксперимент

Инженерное моделирование



научное моделирование

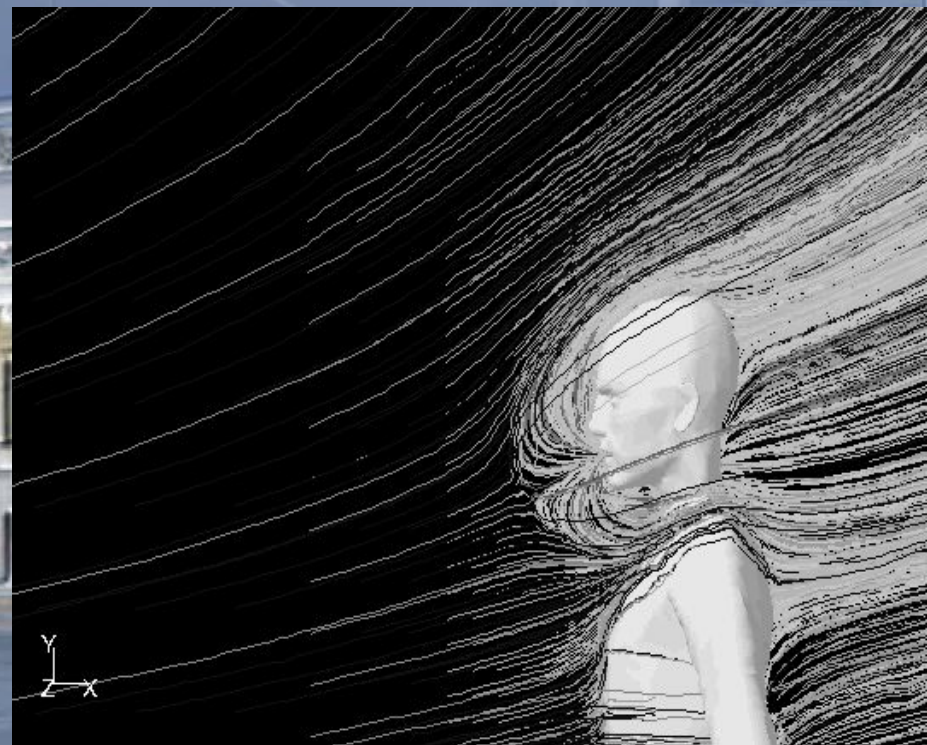
# Наночастицы и дыхание человека



**Реальный эксперимент**

\$ 900 тыс.

2 года

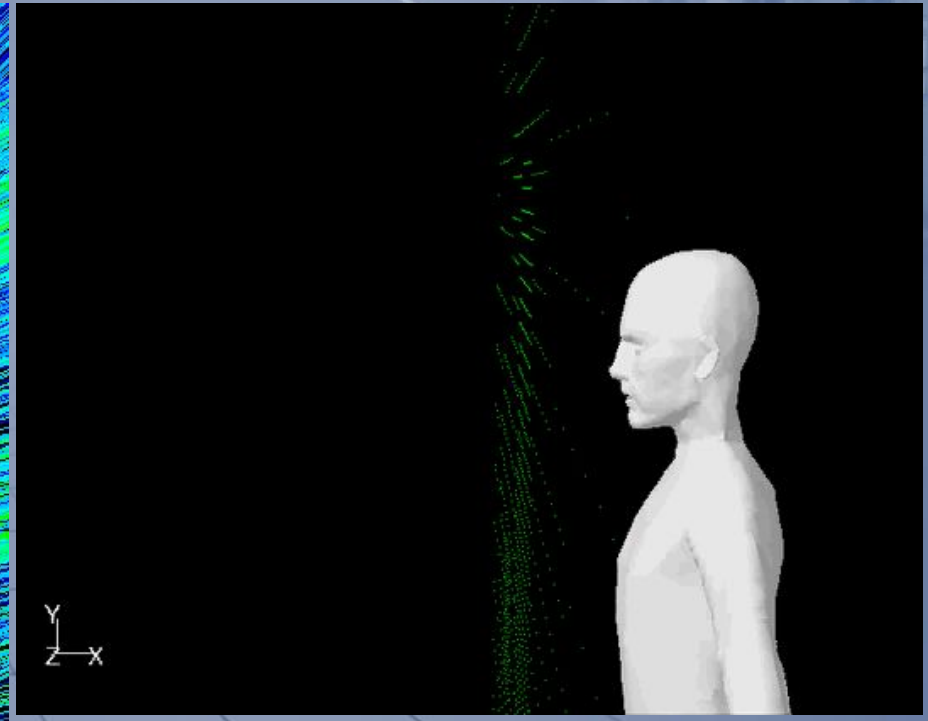
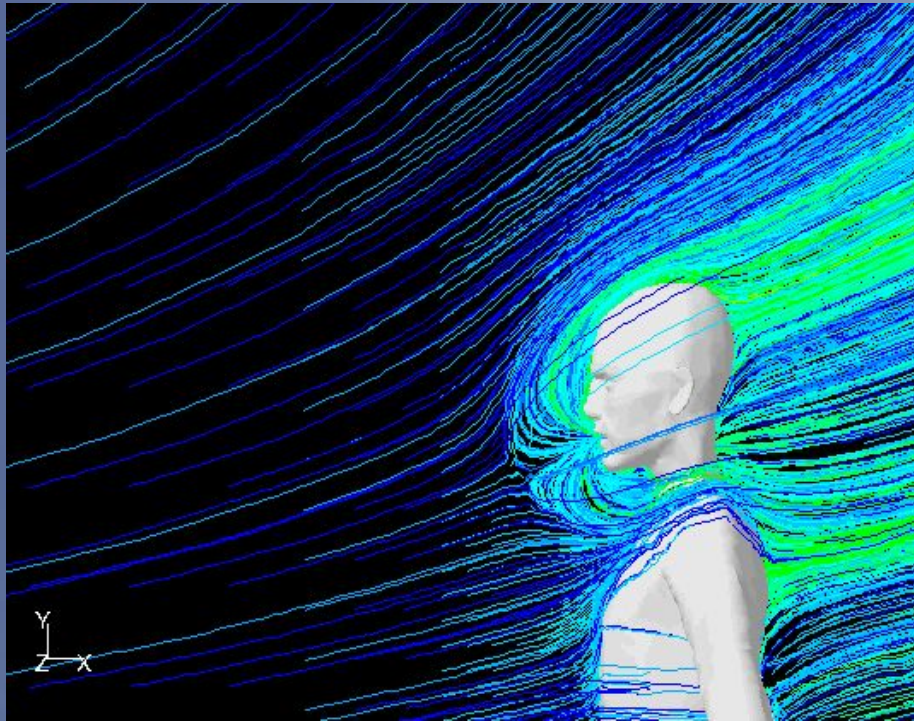


**Вычислительный эксперимент**

\$ 1000

6 месяцев

# Линии тока и движение наночастиц в процессе дыхания человека



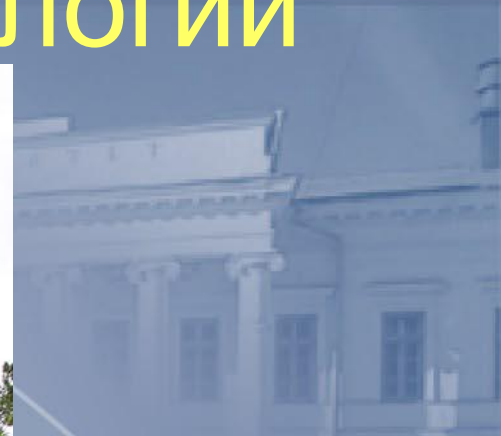
**ВЫДОХ**  **ВДОХ**



# Нанотехнологии

- совокупность методов и приемов манипулирования веществом на атомном и молекулярном уровнях с целью производства продуктов с заданной атомной структурой

# Современные технологии

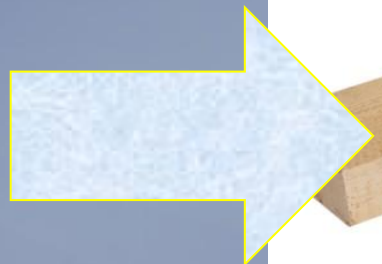


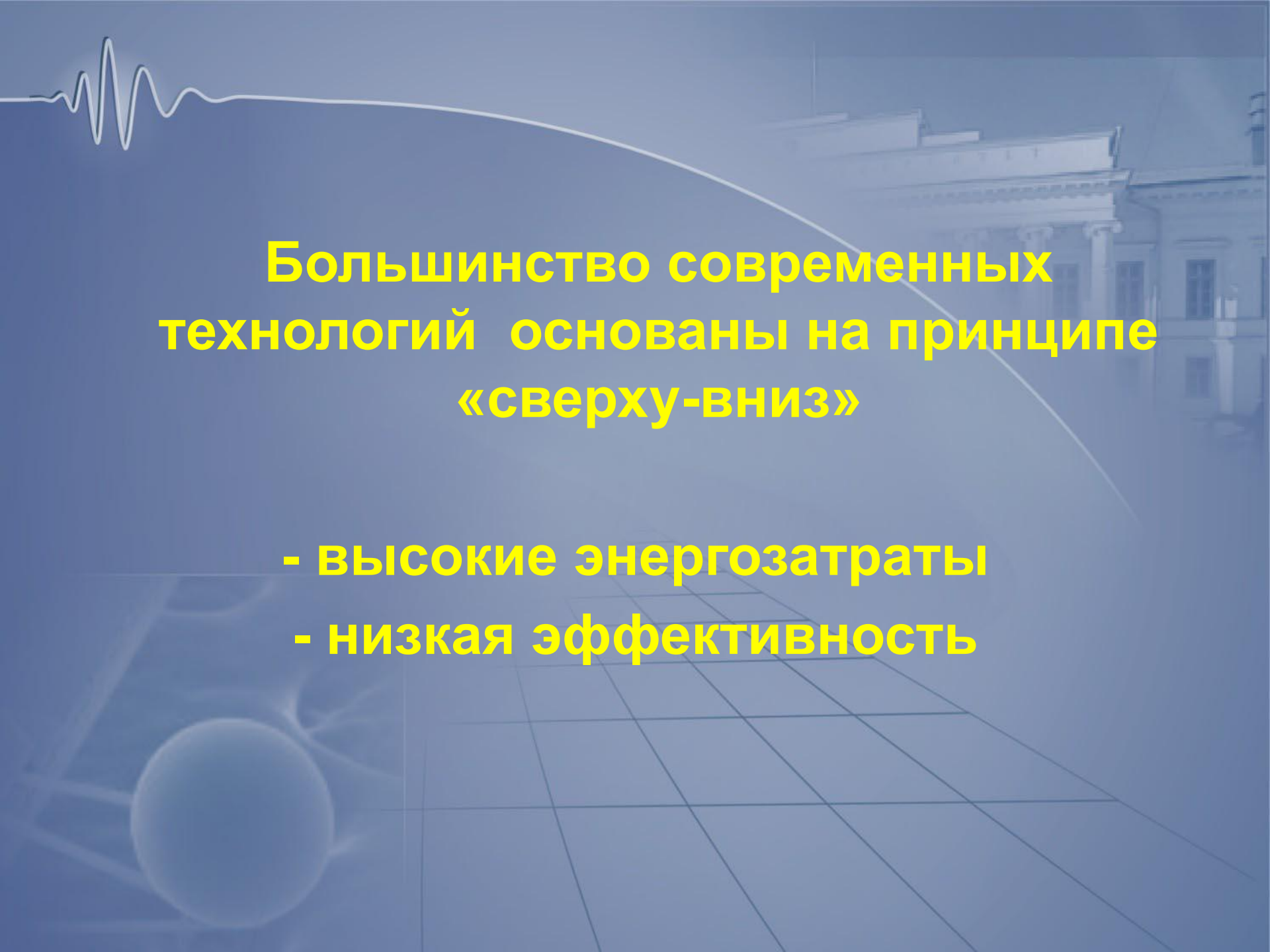
# Современные технологии





# Современные технологии

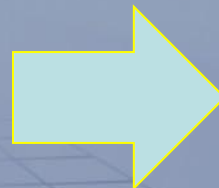




**Большинство современных технологий основаны на принципе «сверху-вниз»**

- высокие энергозатраты**
- низкая эффективность**

# Нанотехнологии принцип «снизу - вверх»






совместно с «Химрусэнерго», Н. Челны

**Создание научно-промышленного комплекса по производству высокоэффективных аккумуляторов нового поколения для транспортных систем**

**Комплекс включает:**

- завод по производству аккумуляторов
- конструкторское бюро
- научно-исследовательскую лабораторию
- кафедру нанотехнологий с магистратурой в области химических источников тока

**"НИР-ОКР-производство + подготовка кадров"**

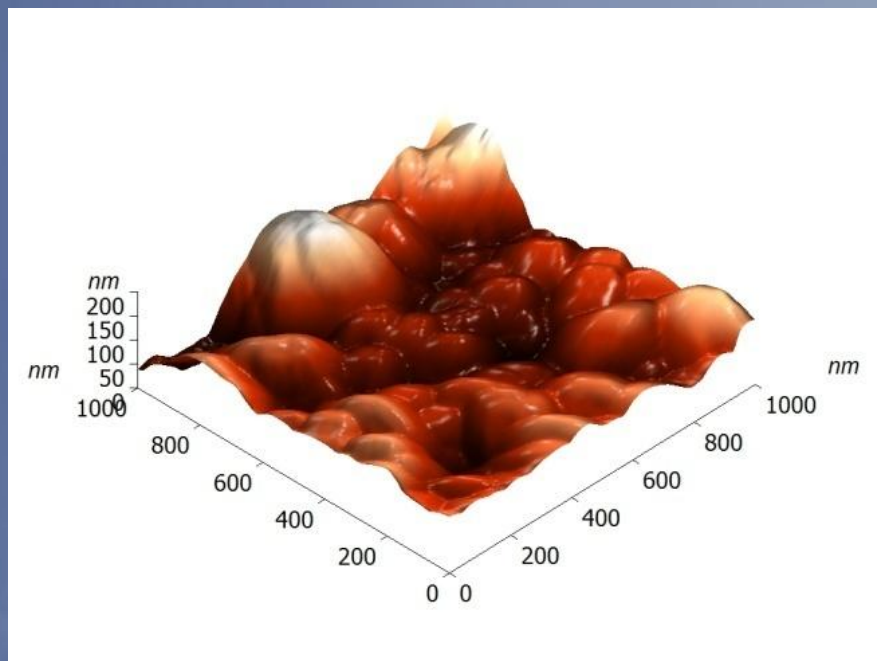
- 
- 1) Выбросы автомобилей
  - 2) Стоимость топлива

**ДВС → гибридный или электрический  
привод**

**Аккумулятор – «сердце» транспортного  
средства**

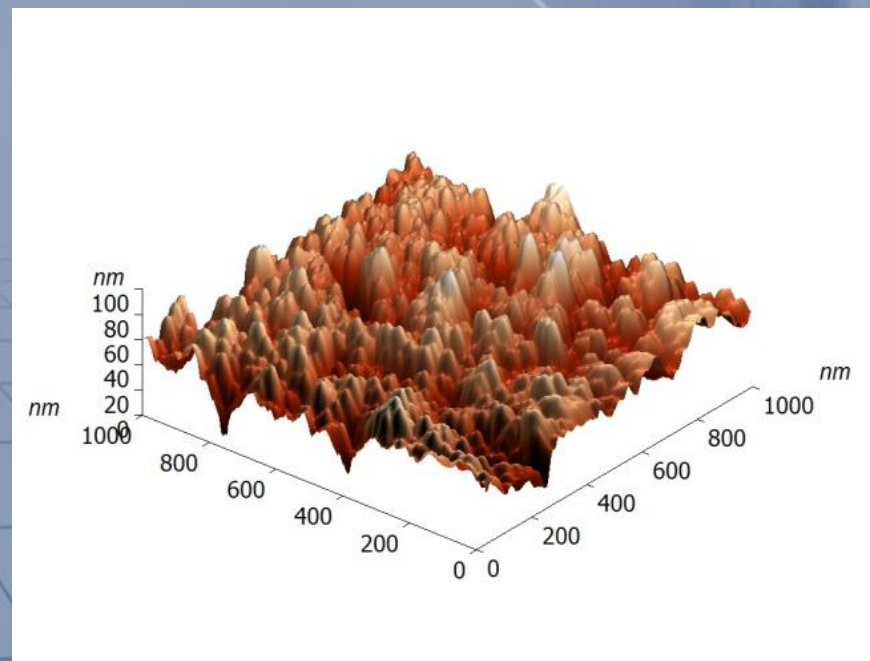
# Структура поверхности оксидно-никелевого электрода

(a)



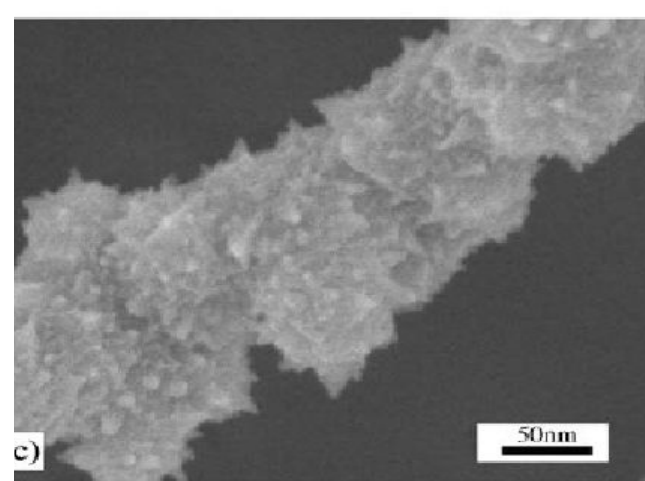
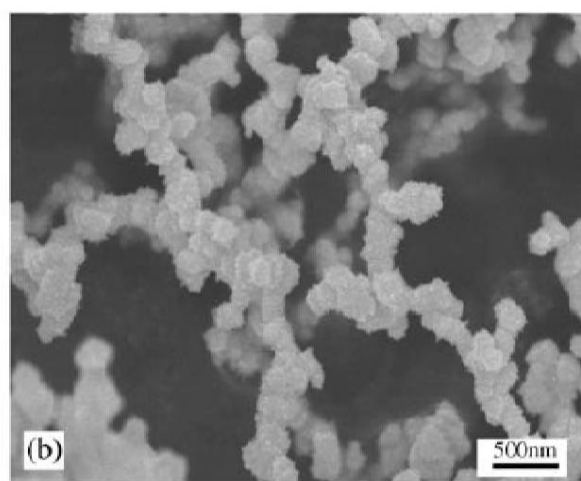
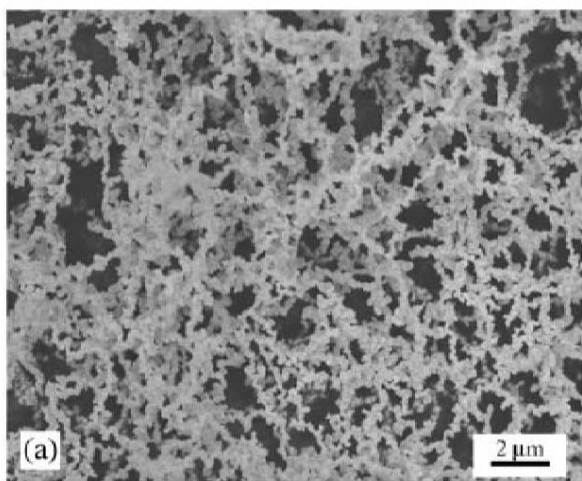
обычный электрод

(b)

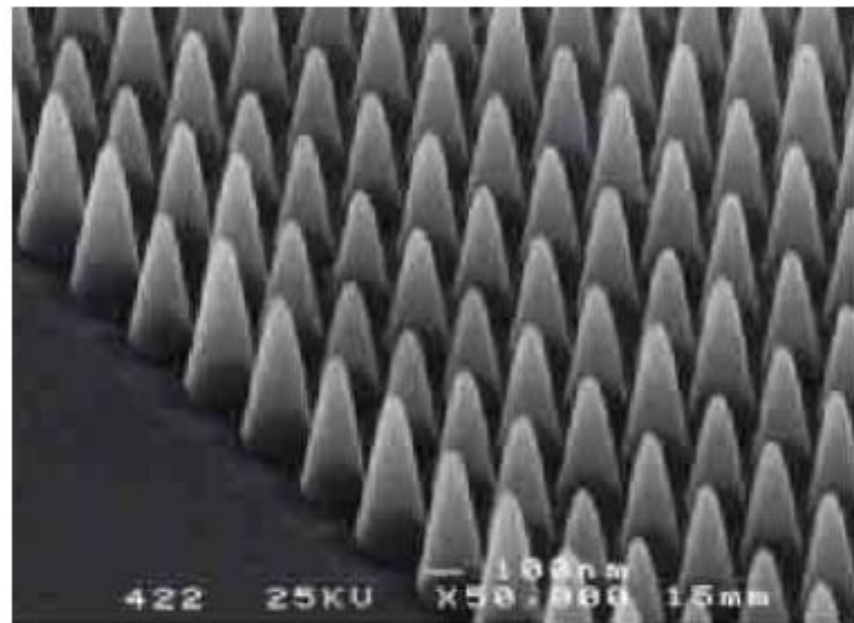
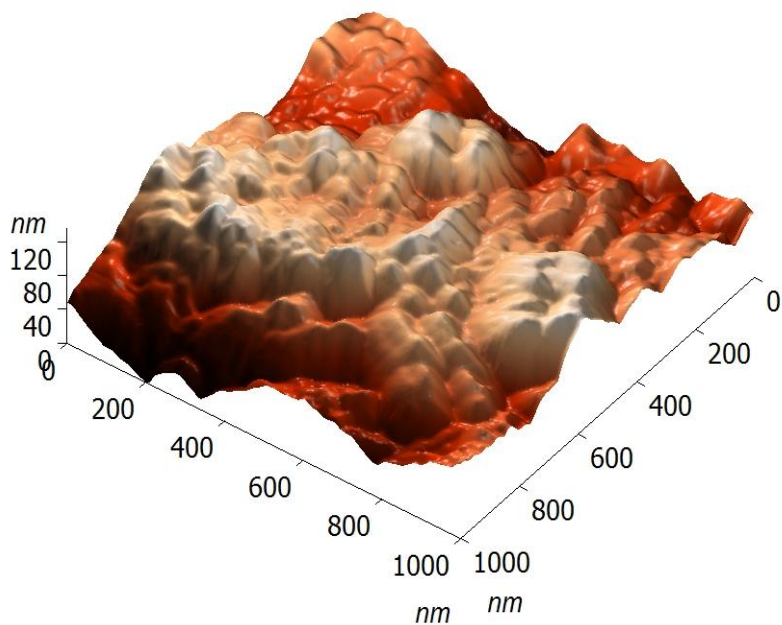


электрод "Химрусэнерго"

# Поверхность никелевого электрода с дендритной наноструктурой



# Наноструктурированная поверхность активного вещества электрода



Поверхность стандартного  
оксидно-никелевого электрода  
(неупорядоченная)

Поверхность, упорядоченная  
на наноуровне






# Конкурентные преимущества народов

- американцы – предприимчивы
- европейцы – дисциплинированы
- китайцы – трудолюбивы
- ....

Россияне - ?



# Конкурентные преимущества народов

- американцы – предприимчивы
- европейцы – дисциплинированы
- китайцы – трудолюбивы

**Россияне – талантливы!**