

Введение в специальность.

Плазма XXI+

Валерий Александрович Курнаев

Заведующий кафедрой физики плазмы (№ 21) института
ЛАПЛАЗ МИФИ

plasma.mephi.ru

19 марта 2018г

Популярную книжку
«Плазма 21 век»
можно найти на сайте
<http://plasma.mephi.ru>

Ниже только «Плазма XXI +» !



Эволюция звезд при термоядерном горении

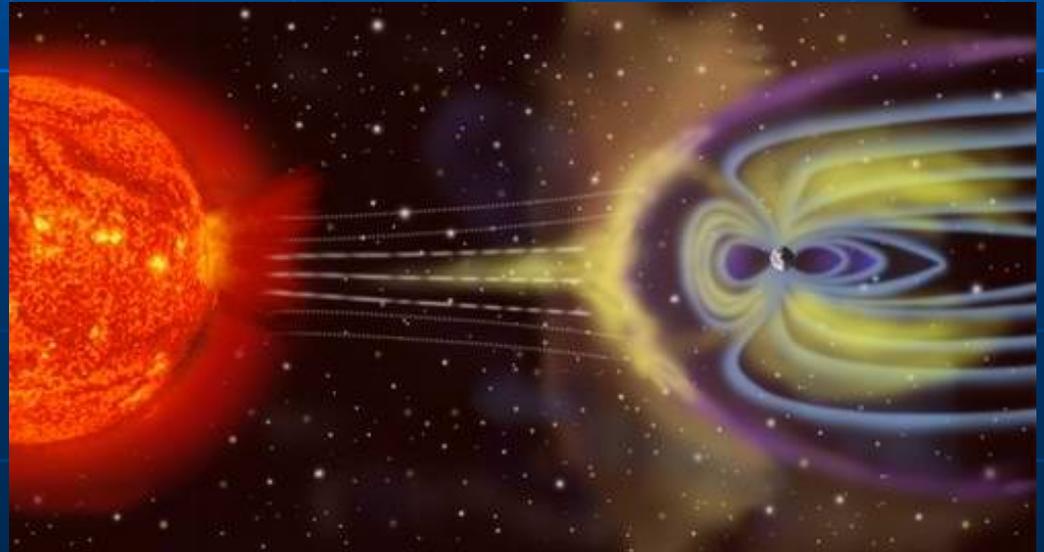
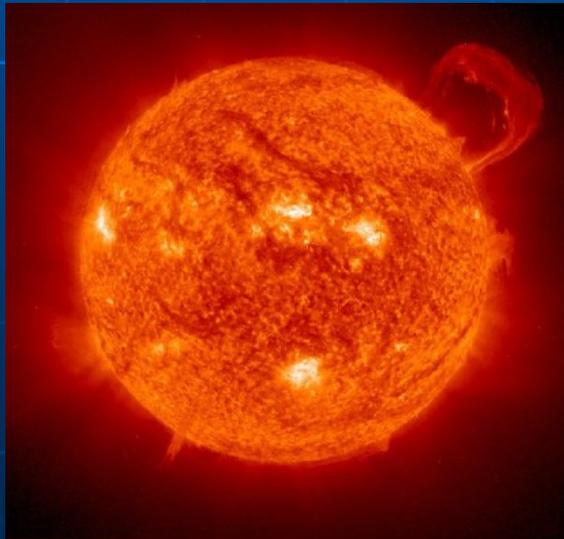


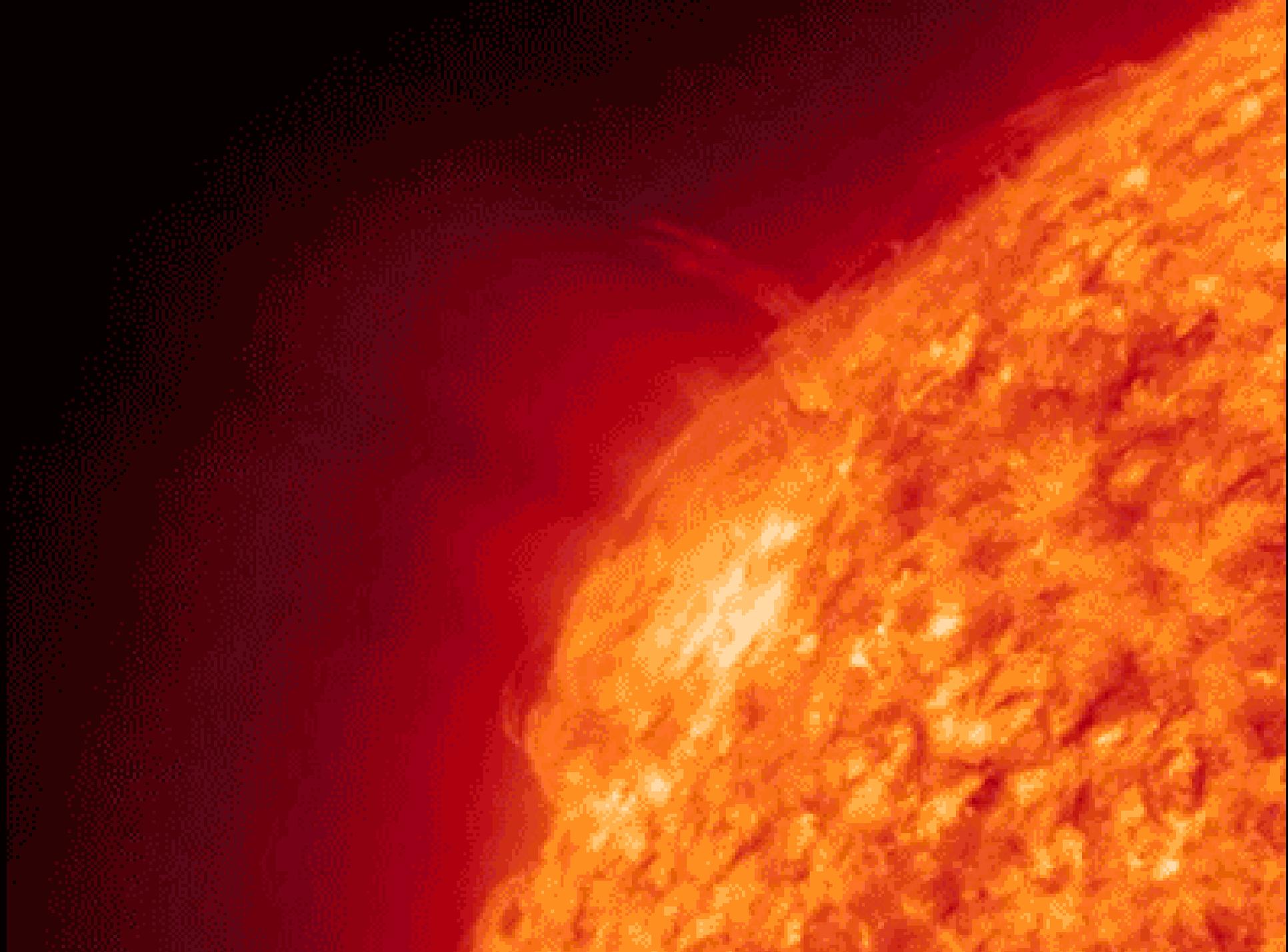
Плазма в космосе 95% видимого вещества

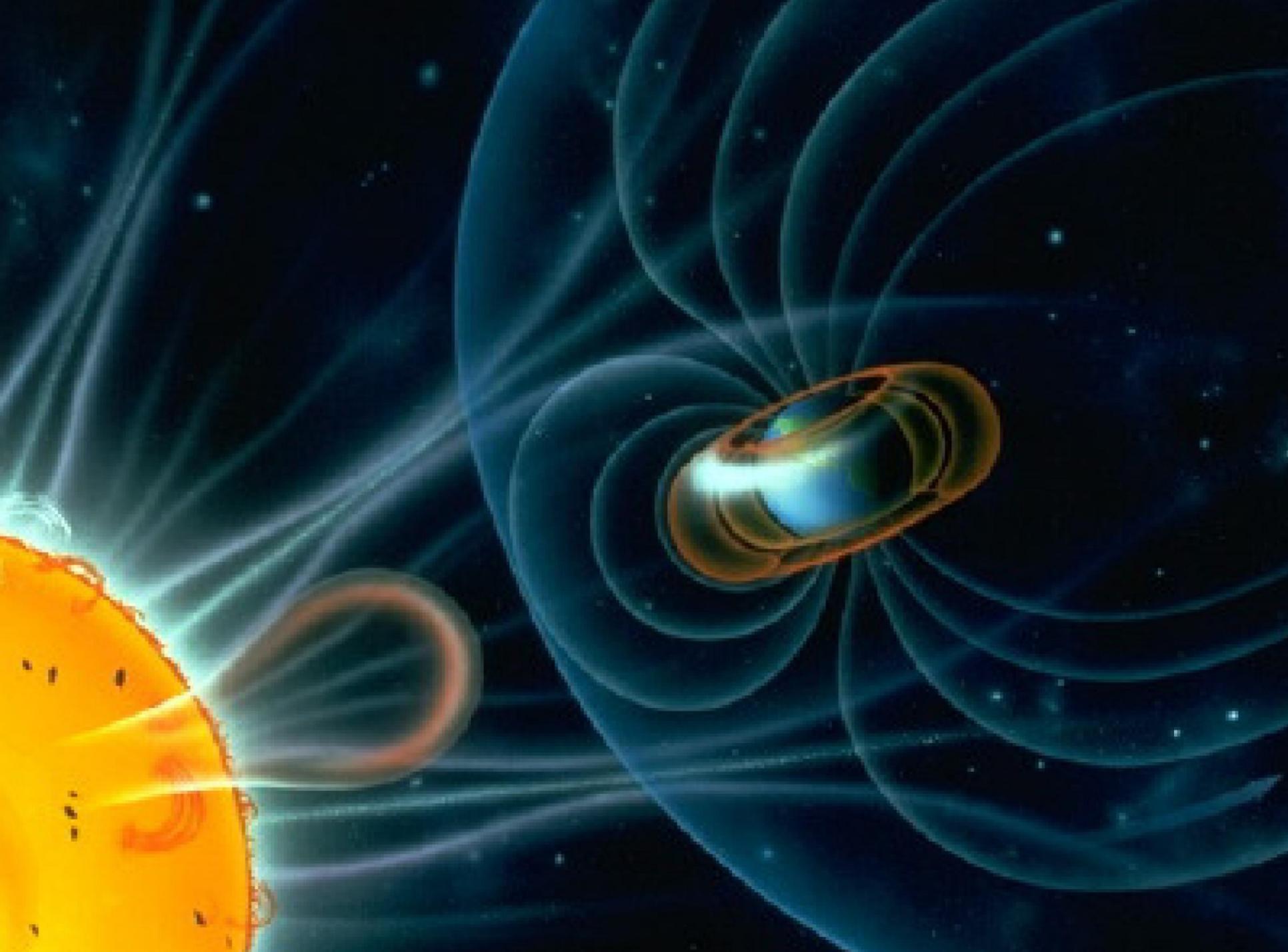


Звезды рождаются и умирают в результате реакций синтеза ядер.

Солнце – термоядерный реактор, который обеспечивает жизнь на Земле.



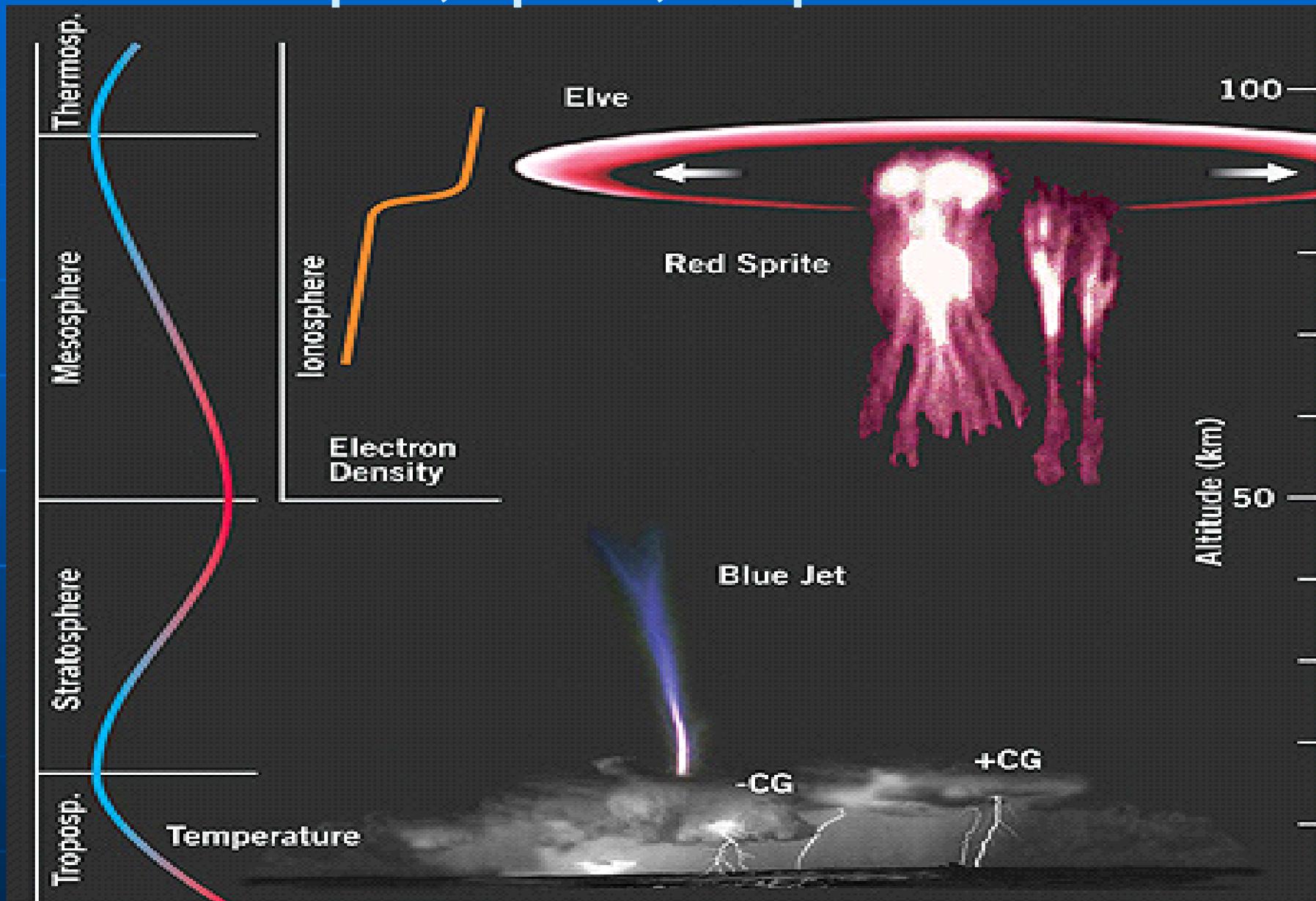




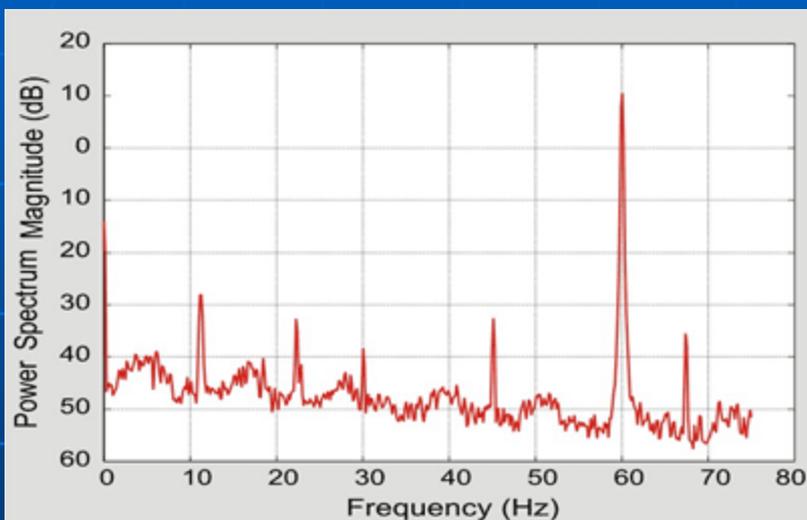




Эльфы, феи, спрайты ...



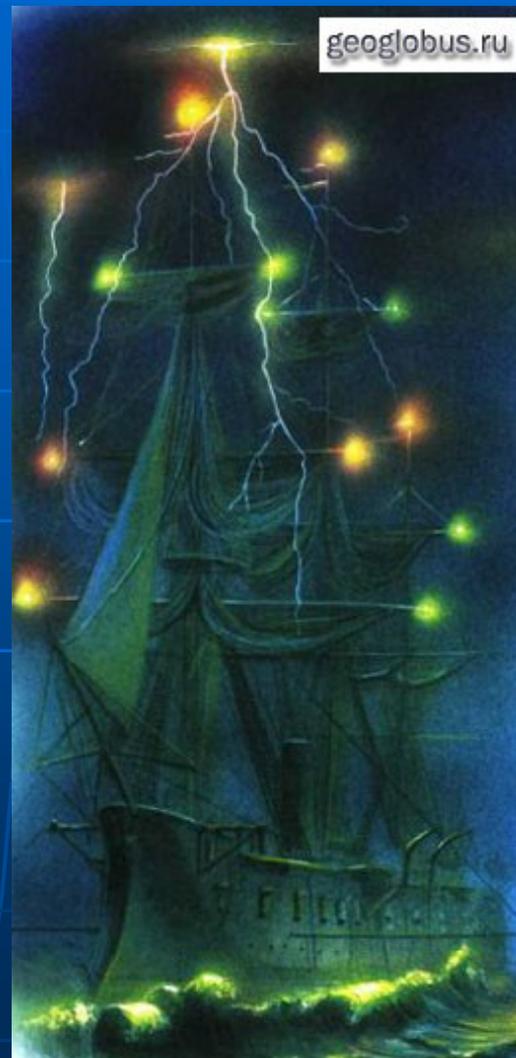
Ритмы живого на Земле «заданы» околоземными плазменными резонаторами Шумана и Альфвена



Спектр частот резонатора
Шумана

Наблюдаются корреляцию вариации энцефелограмм мозга испытуемых с вариациями внешней магнитной активности, а биоритмическая активность сердечно-сосудистой системы коррелирует (на 30%) с резонансными модами альфвеновского резонатора.

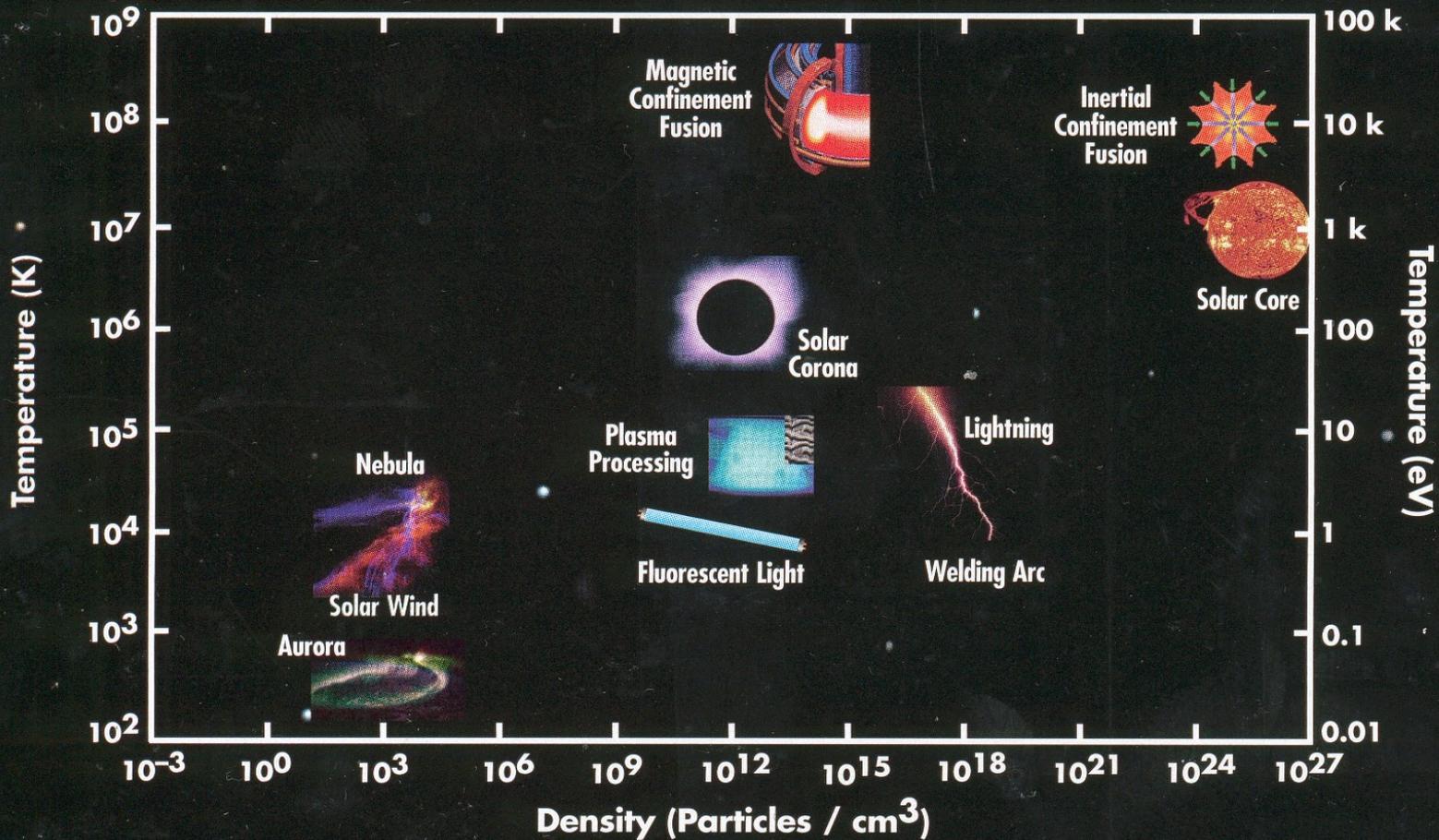
Огни святого Эльма





Многообразие плазм

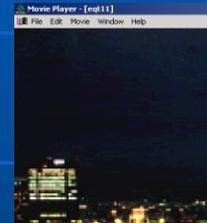
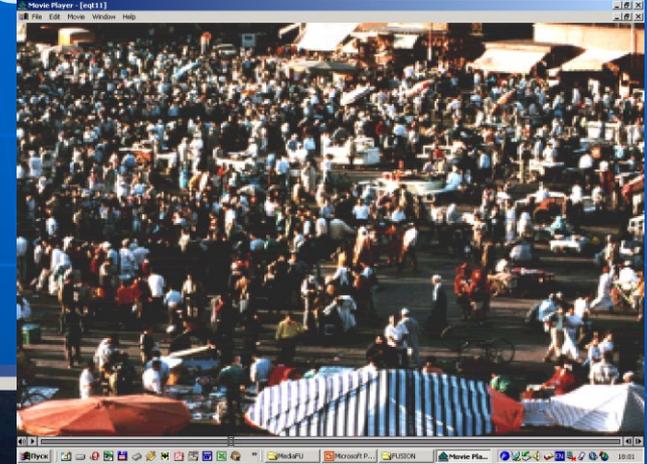
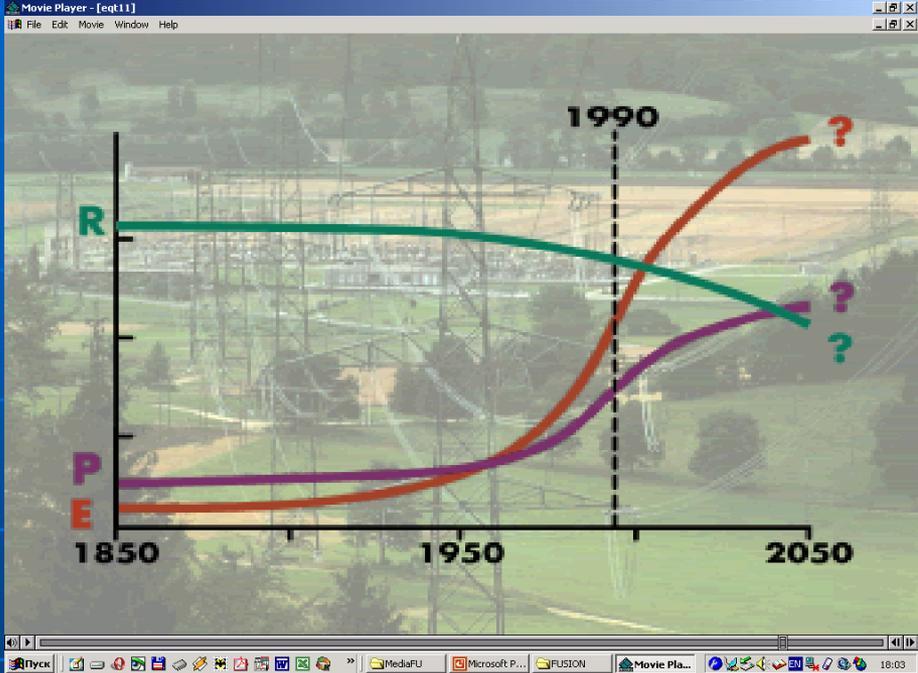
Plasmas exist over a very wide range of temperature and density



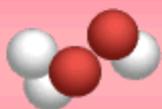
Concept developed by Contemporary Physics Education Project and General Atomics

Plasmas comprise the vast majority of the apparent universe, and only in occasional islands (like planet Earth) is matter in condensed forms.

Population and energy resources



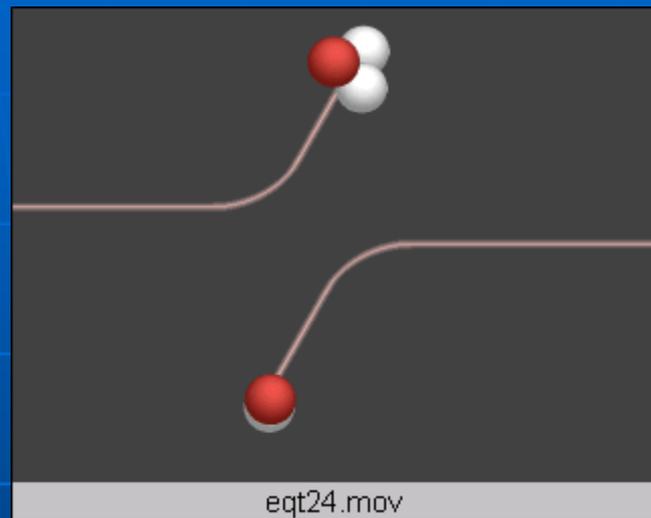
Рассеяние частиц и их синтез в плазме



eqt24.mov



eqt24.mov



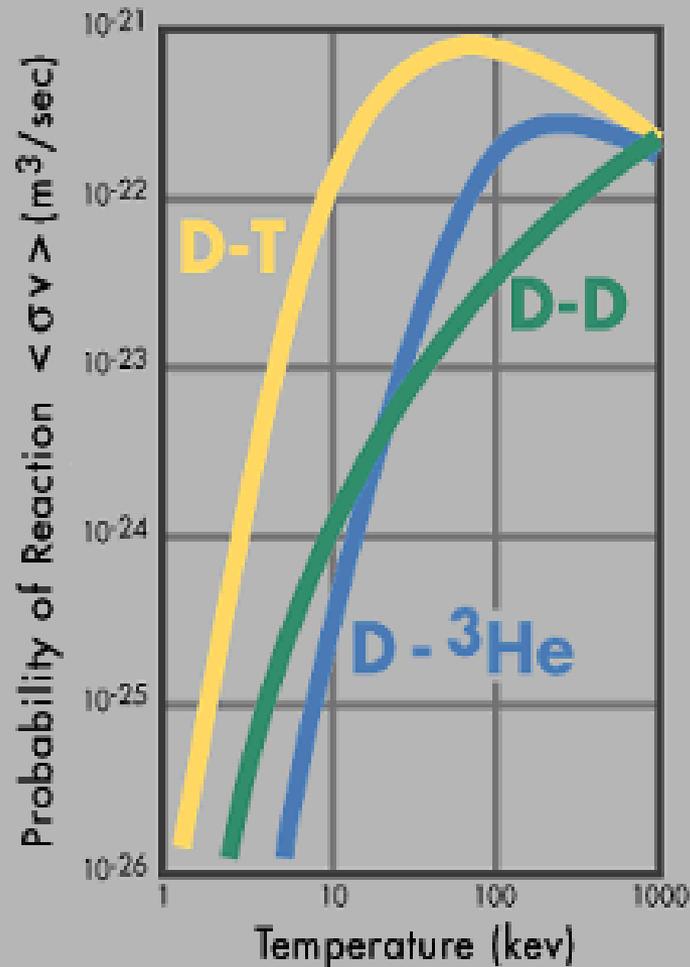
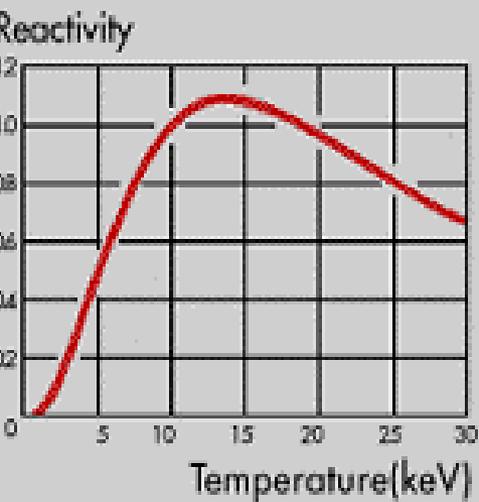
eqt24.mov



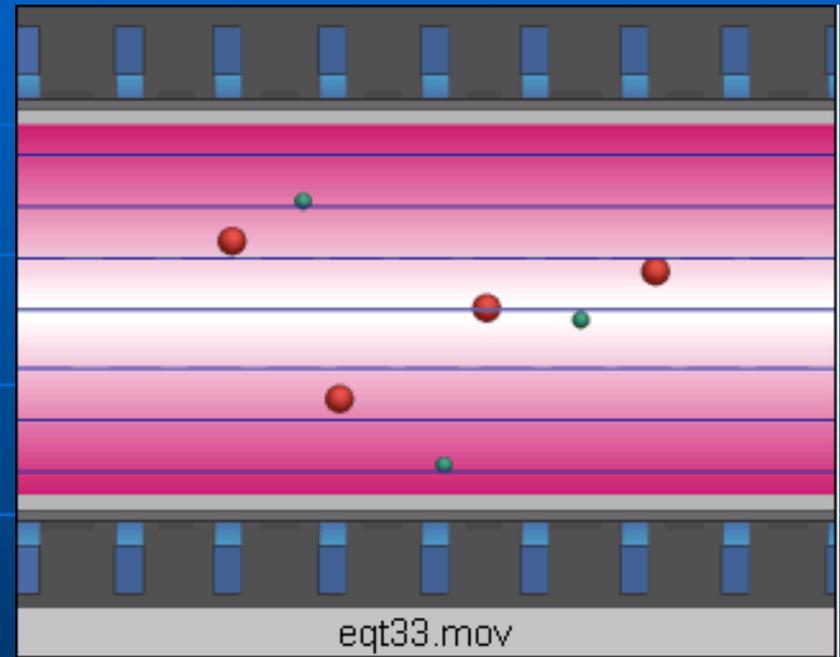
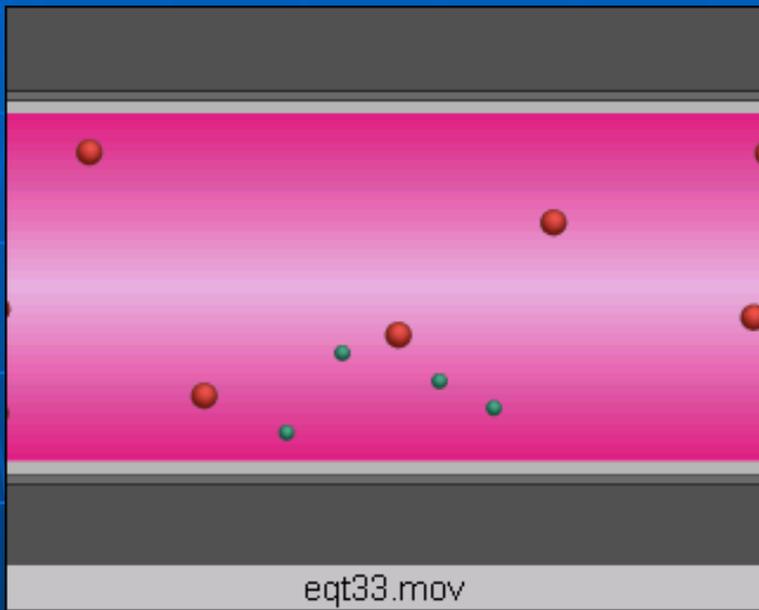
eqt24.mov

Сечения реакций синтеза

The reactivity $R(T_{\text{keV}})$ expresses the D-T fusion reaction rate.

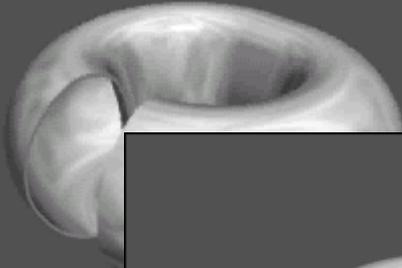
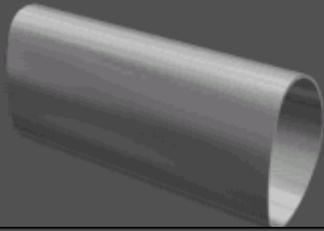


Магнитная изоляция благодаря силе Лоренца $F=q[vB]$

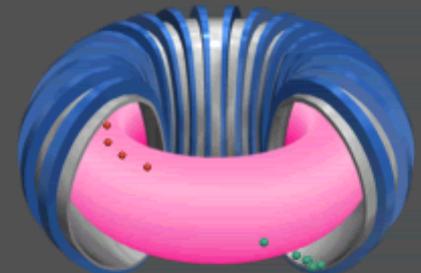
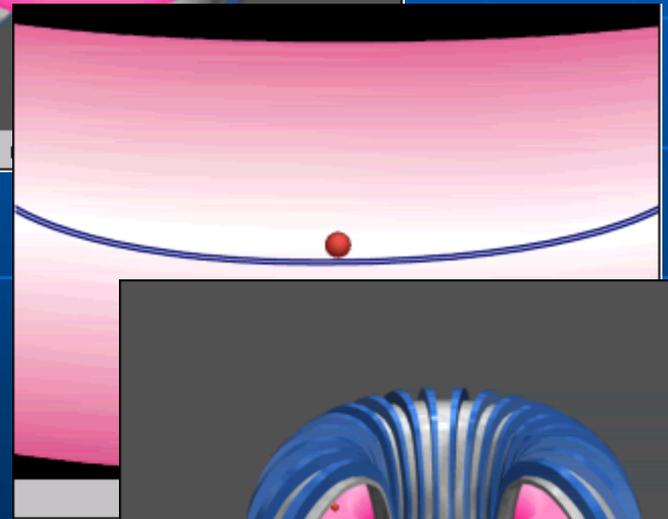


Но при $T = 10^8\text{K}$ скорость $D \sim 10^8\text{cm/s} \longrightarrow$ за 1 секунду 1000км!

Замкнутая конфигурация



eqt34.mov

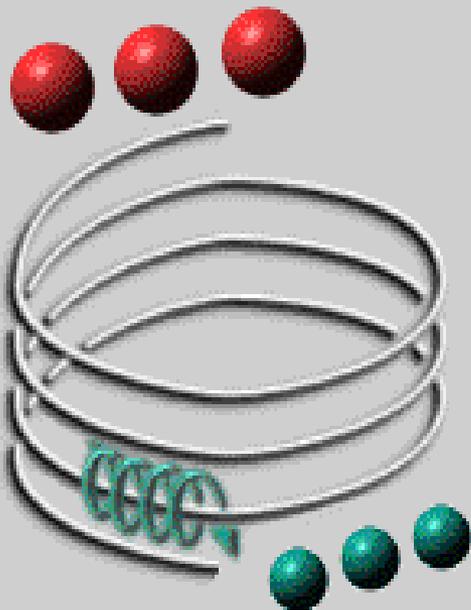


eqt34.mov

Toroidal Field

Но из-за дрейфа в неоднородном магнитном поле плазма выбрасывается наружу!

→ Поле надо сделать **ВИНТОВЫМ!**

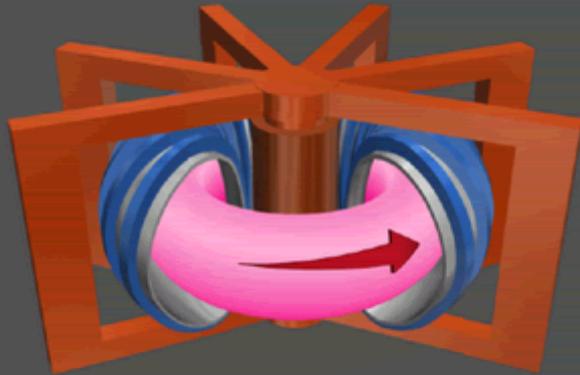


ТОКАМАК

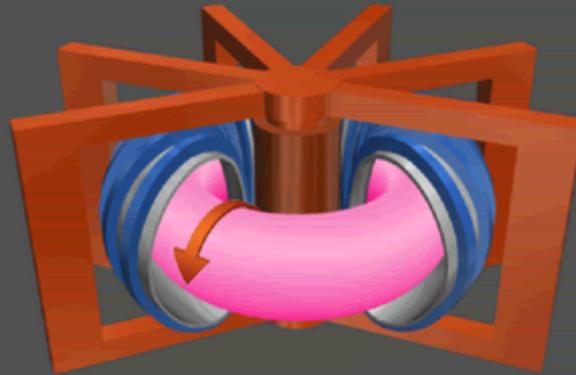
Для создания винтового поля в России предложили пропустить через плазму ток.

Для этого нужен трансформатор – изменяя ток в индукторе поддерживают ЭДС на обходе тора.

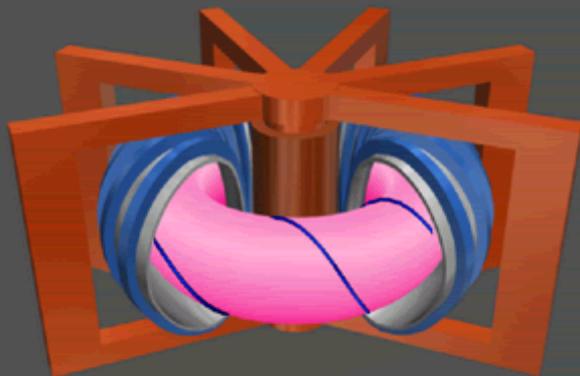
Суперпозиция внешнего поля и поля тока создает нужную винтовую конфигурацию.



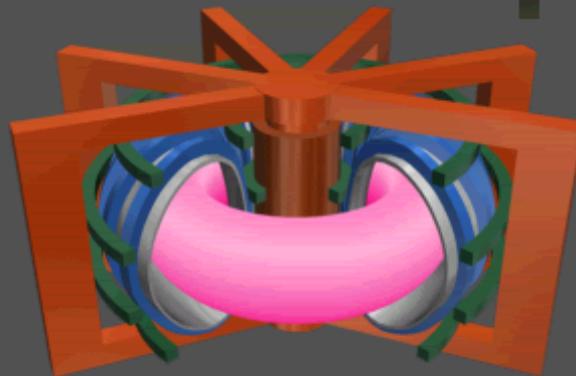
eqt35.mov



eqt35.mov

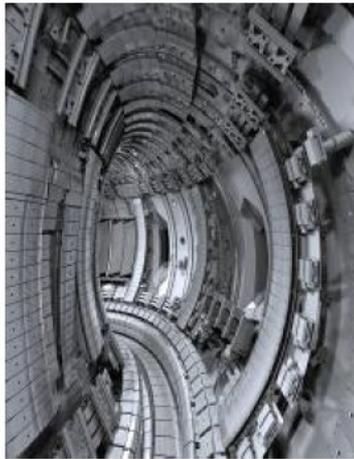


eqt35.mov

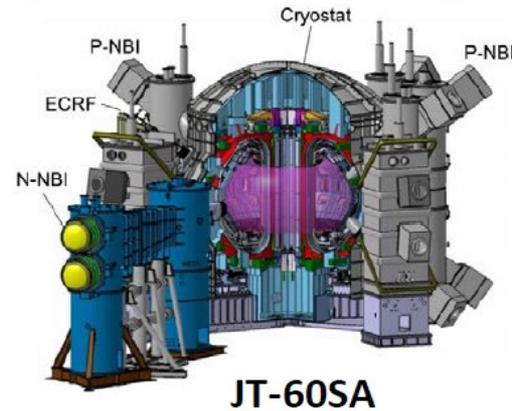


eqt35.mov

Богатый мир токамаков

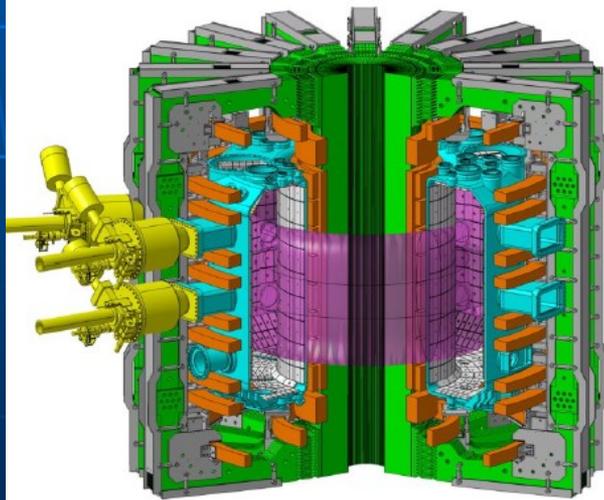


JET

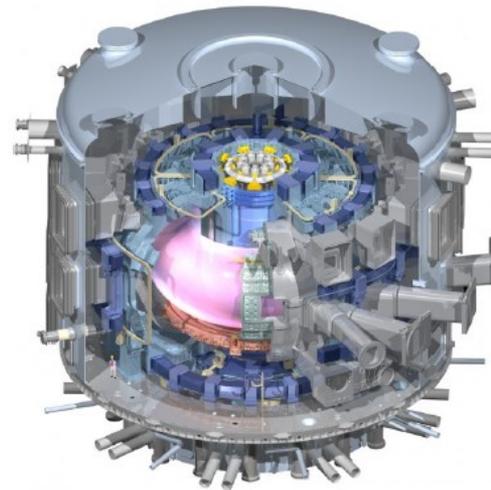


AUG

JT-60SA



TCV

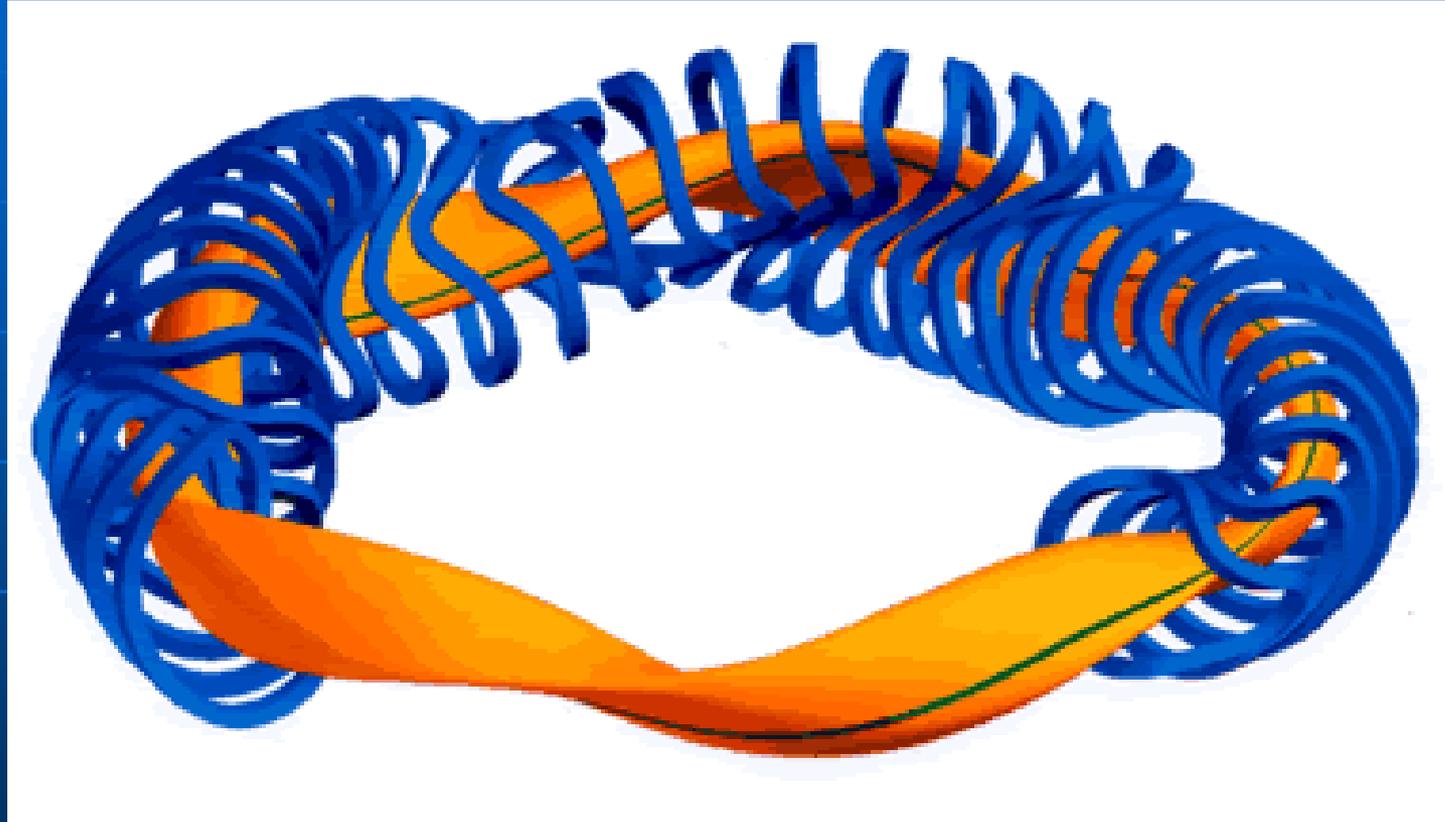


ITER



MAST Upgrade

Wendelstein 7-X coils



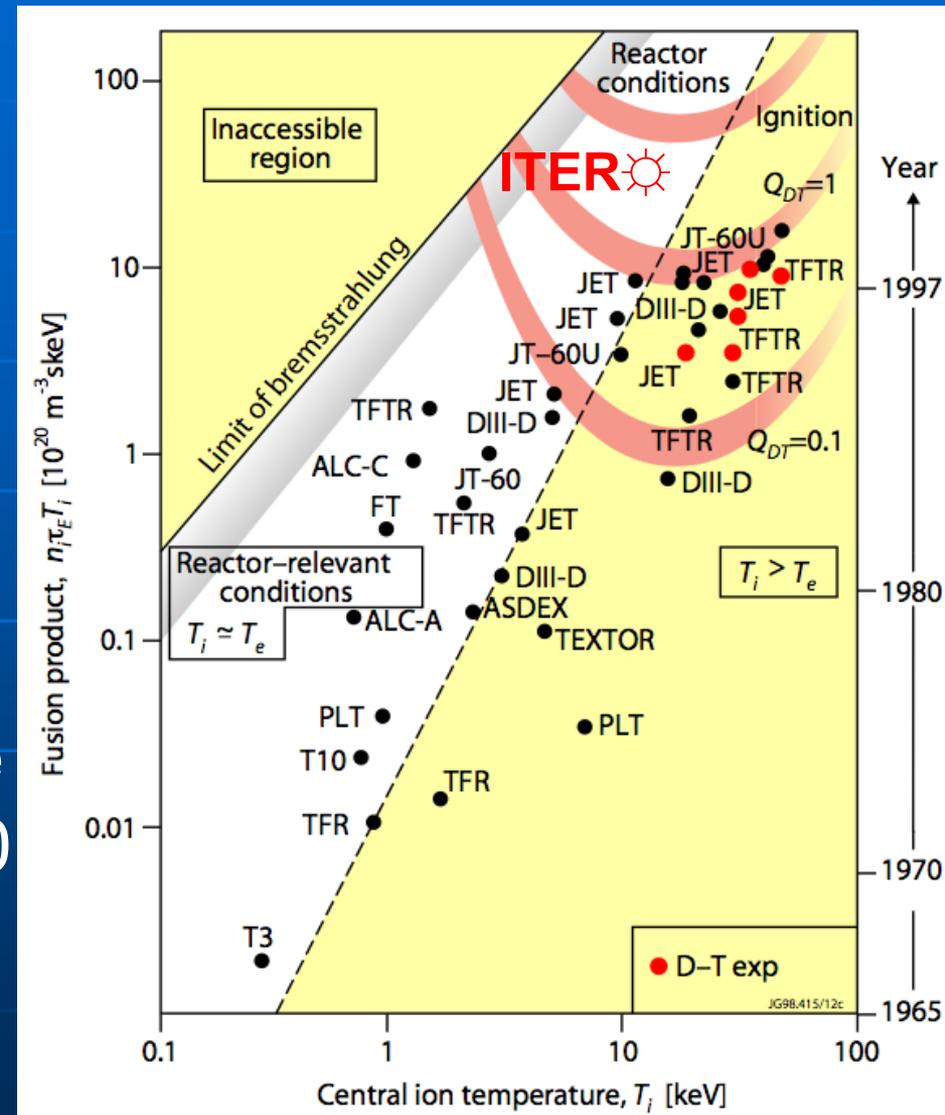


Fusion performance

$$Q = \frac{\text{Fusion Power}}{\text{Input Power}}$$

Existing experiments have achieved $nT\tau \sim 1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}\text{skeV}$ and $Q_{DT} \sim 1$

JET and TFTR have produced DT fusion powers $> 10 \text{ MW}$ for $\sim 1 \text{ s}$
 ITER is designed to a scale which should yield $Q_{DT} \geq 10$ at a fusion power of $400 - 500 \text{ MW}$ for $300 - 500 \text{ s}$ \rightarrow Baseline scenario



Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР



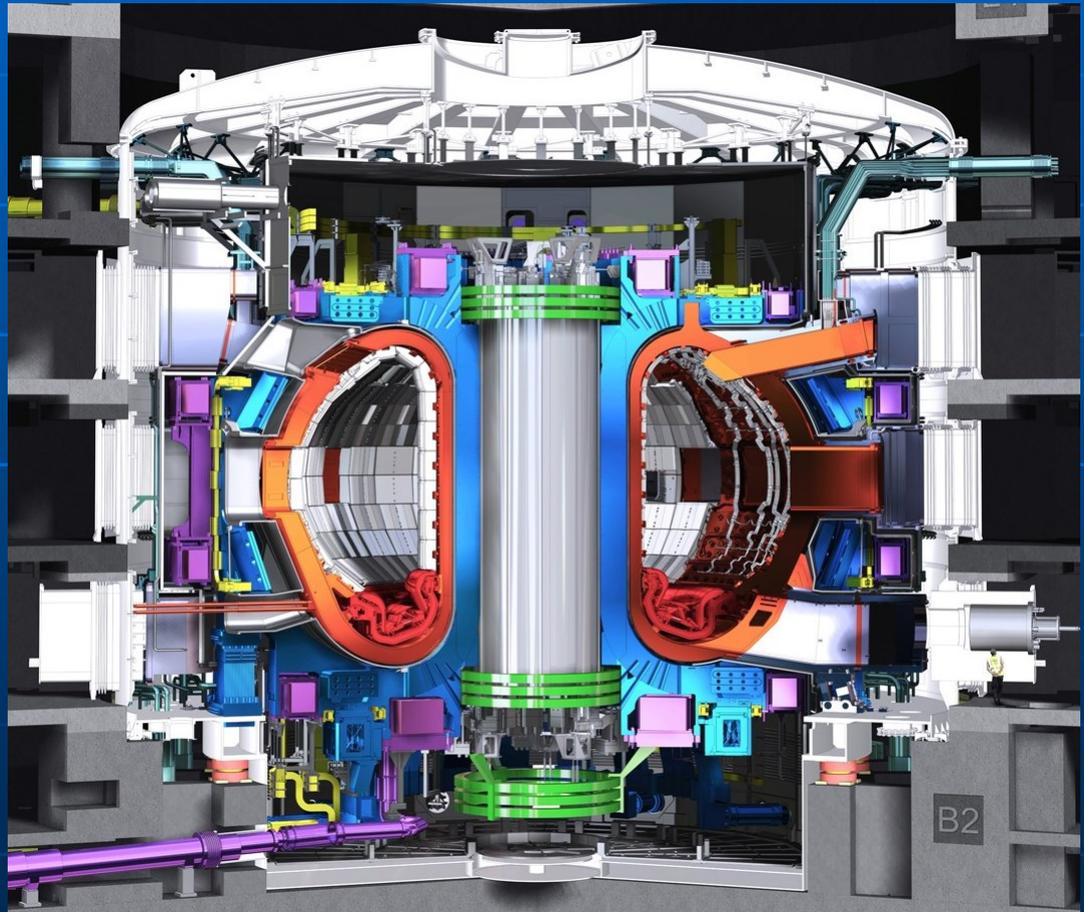
Участвуют Европа, Индия, Китай, Корея, Россия, США, Япония = больше половины человечества!

Реакция синтеза дейтерия и трития

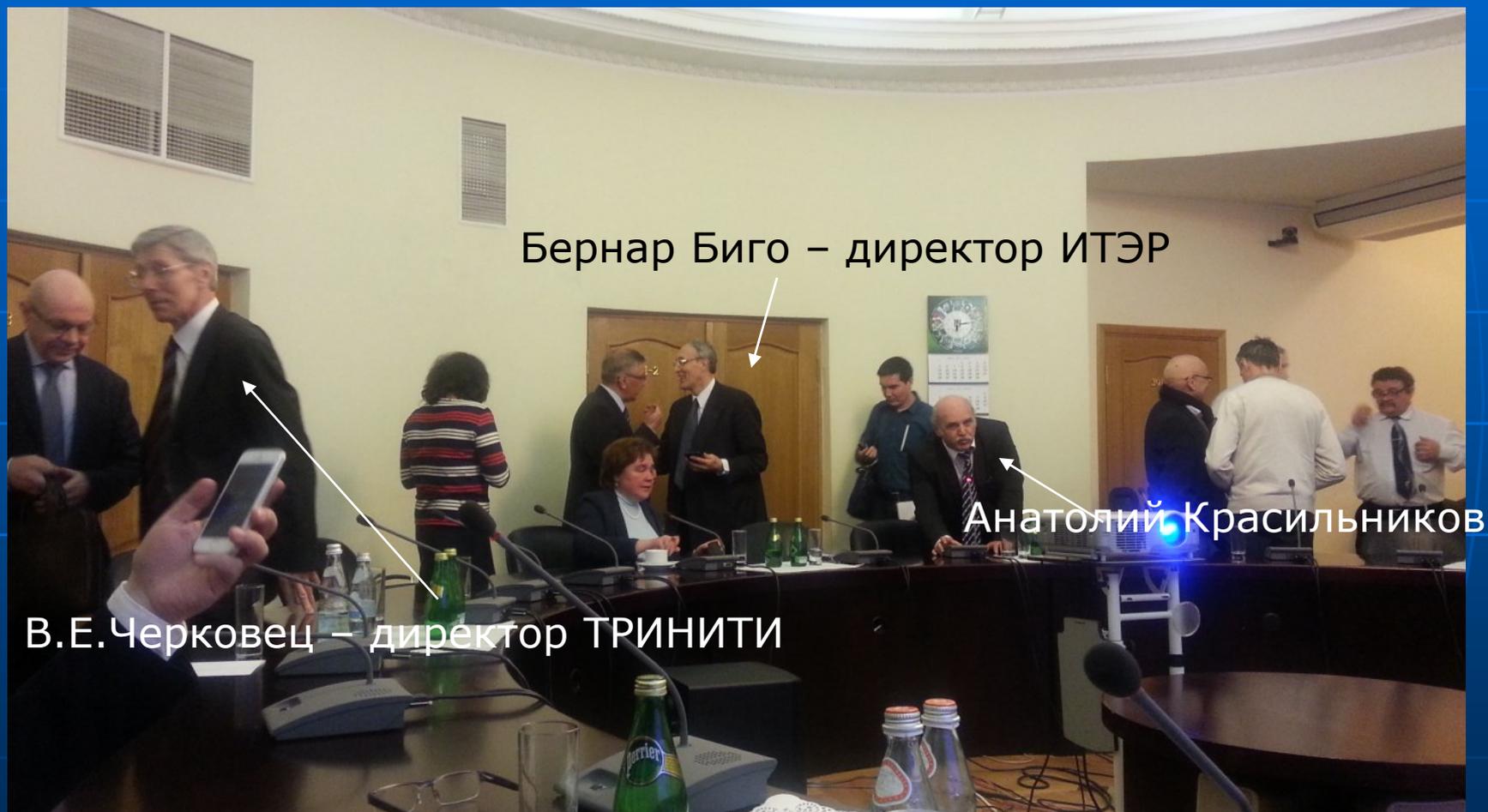
с выделением термоядерной мощности 500МВт

в сильном (5Тл) магнитном поле

Со сверхпроводящими обмотками



В Проектном центре ИТЭР, Москва

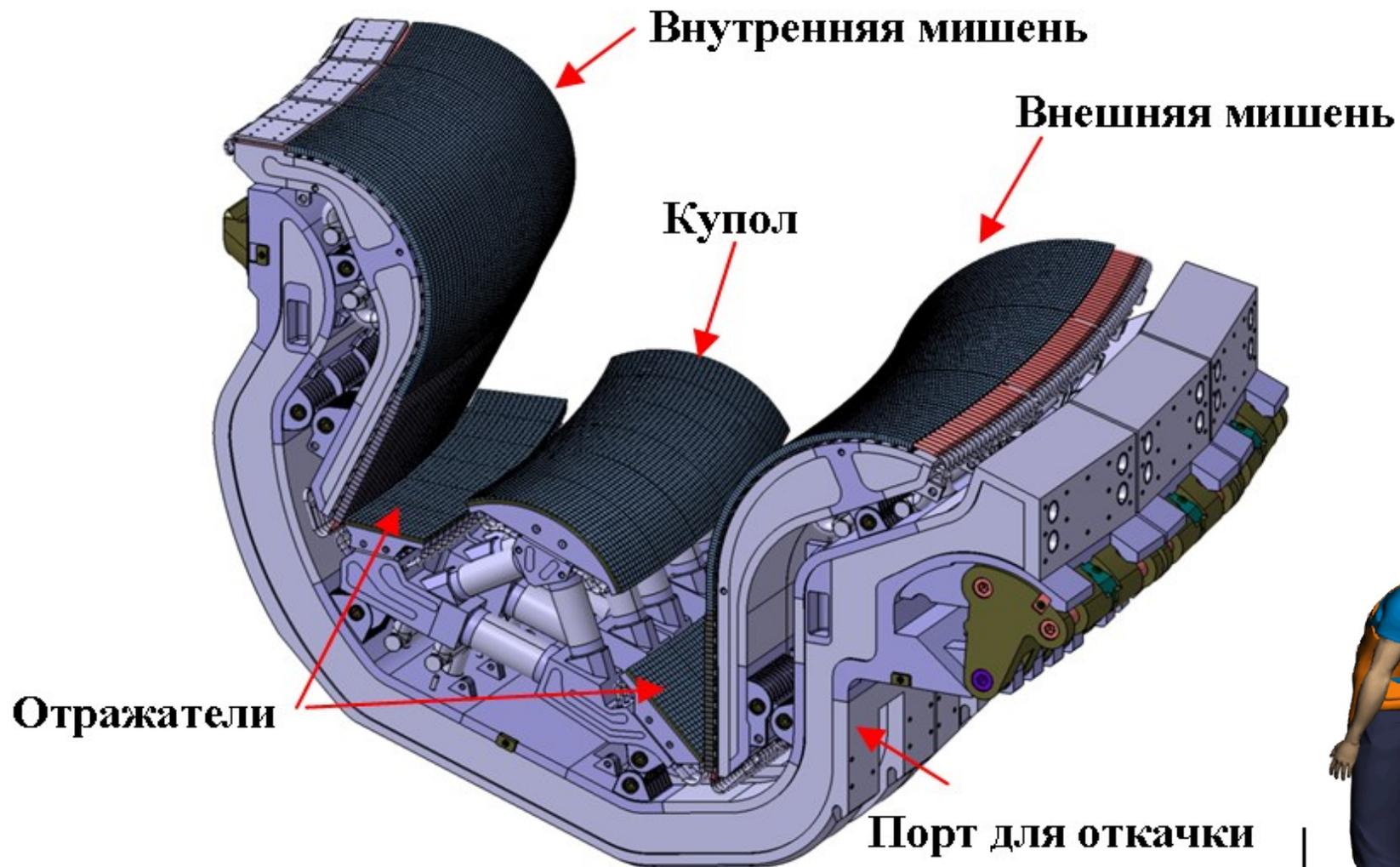


Бернар Биго – директор ИТЭР

В.Е. Черковец – директор ТРИНИТИ

Анатолий Красильников

Дивертор ИТЭР



СТЕЛЛАРАТОР-

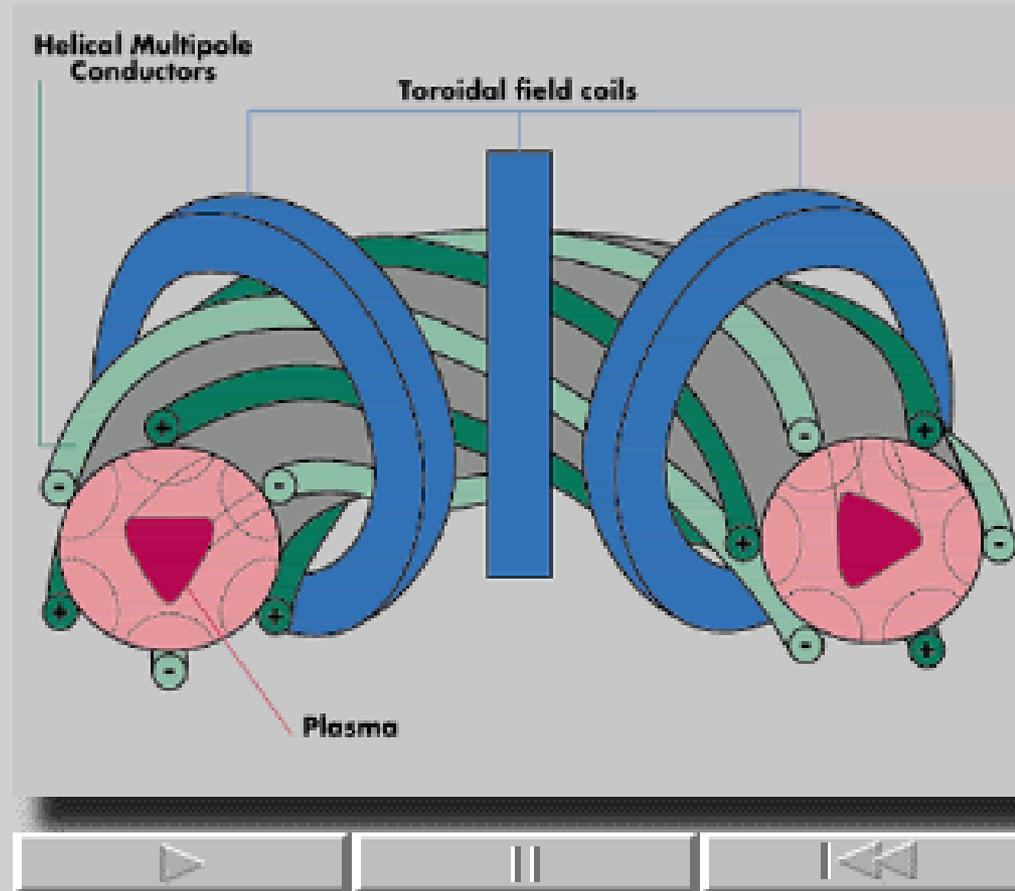
винтовая
конфигурация поля
создается внешними
тороидальной и
винтовыми катушками



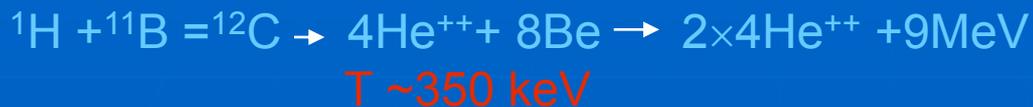
LHD (Large Helical Device)



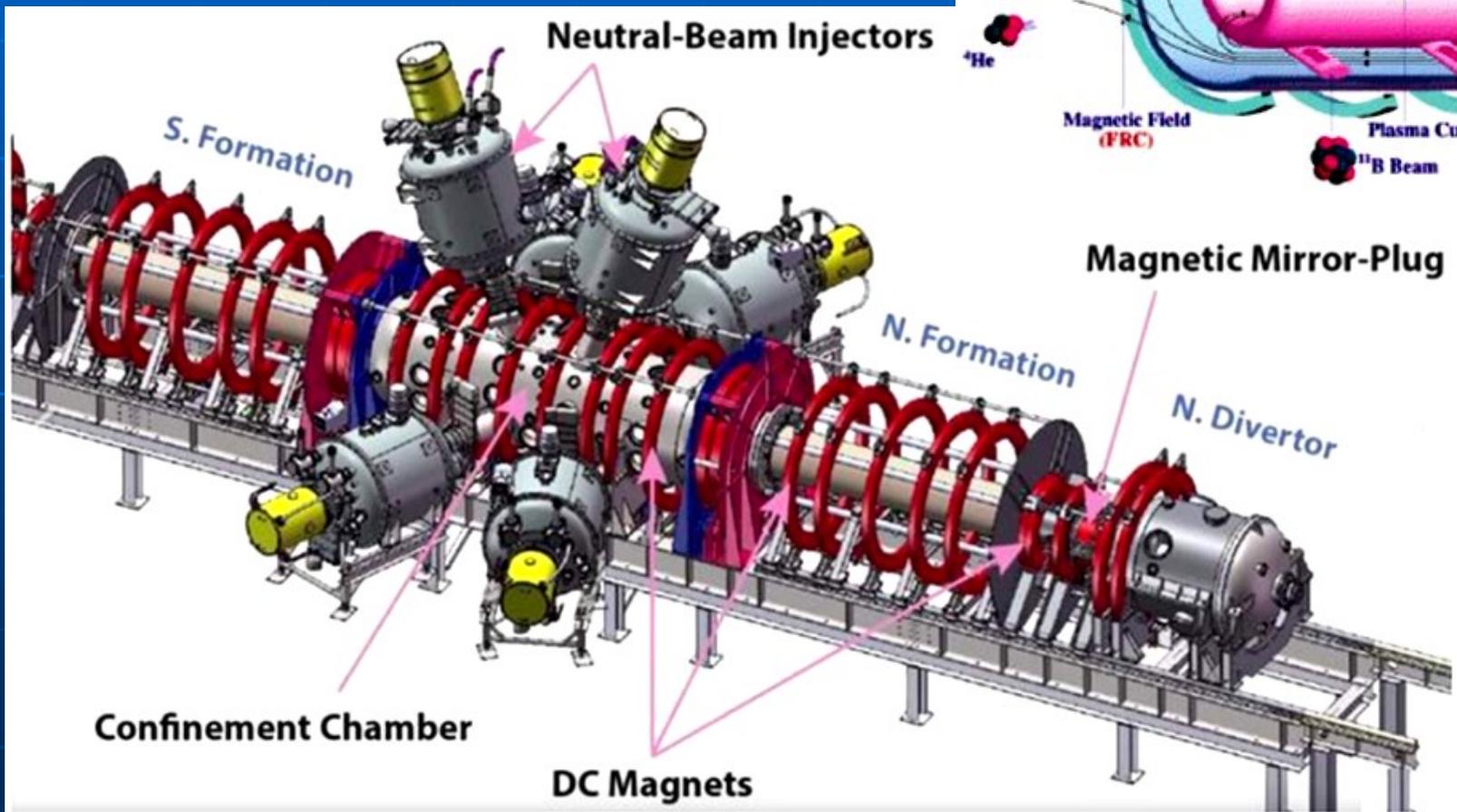
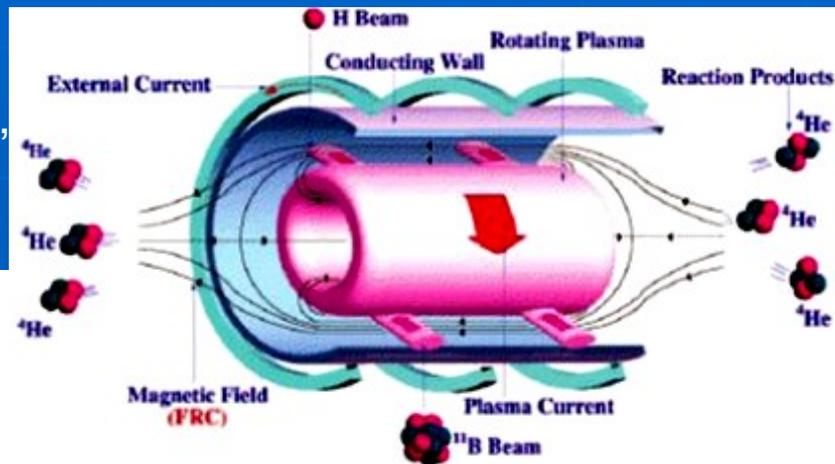
TORSATRON



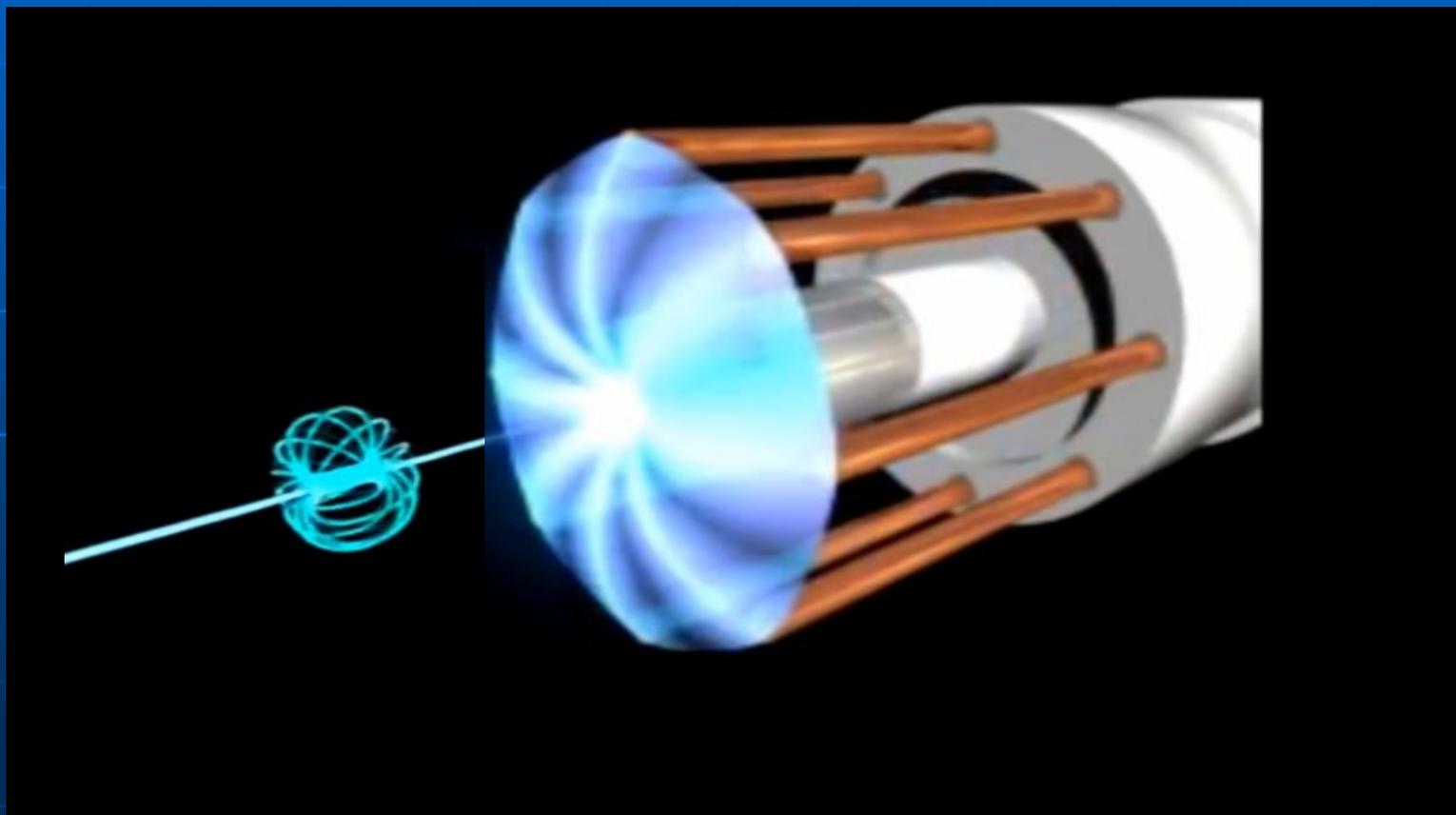
Установка «Три альфа» (США)



Сейчас за время жизни плазмы 5 мс $T = 1 \text{ кэВ}$,
следующей модификации установки С-3 уже
будет $T = 10 \text{ кэВ}$ при времени удержания 1 с!

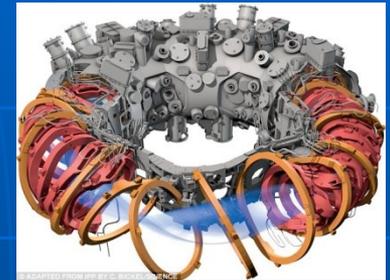


Импульсная система «Плазменный фокус»



Национальные программы по УТС есть в КНР, США, Корее, Европе

- Программа "**Horizon-2020**" определяет основным приоритетом разработку реактора ДЕМО с демонстрацией **положительного выхода электрической энергии** на рубеже 2040-х гг.
- **Германия:** запуск и исследования на стеллараторе W7-X
- **Италия** - разрабатывается проект токамака DTT с сильным полем (продолжение линейки токамаков с сильным полем класса Alcator C-Mod (MIT) и FTU (Фраскатти));
- **Чехия** - проект модернизированного токамака COMPAS, который должен будет перейти в класс крупных токамаков;
- **Франция** - запущен токамак WEST с обращенными к плазме элементами из вольфрама (как результат глубокой модернизации токамака Tore Supra).



Национальная программа РФ по УТС

- передана в Правительство в конце
прошлого года.

2 этапа: 2019-2015 и до 2035 года.

Включает:

«Чистый термояд» - участие в ИТЭР+

Разработка гибридных (синтез деление
реакторов)

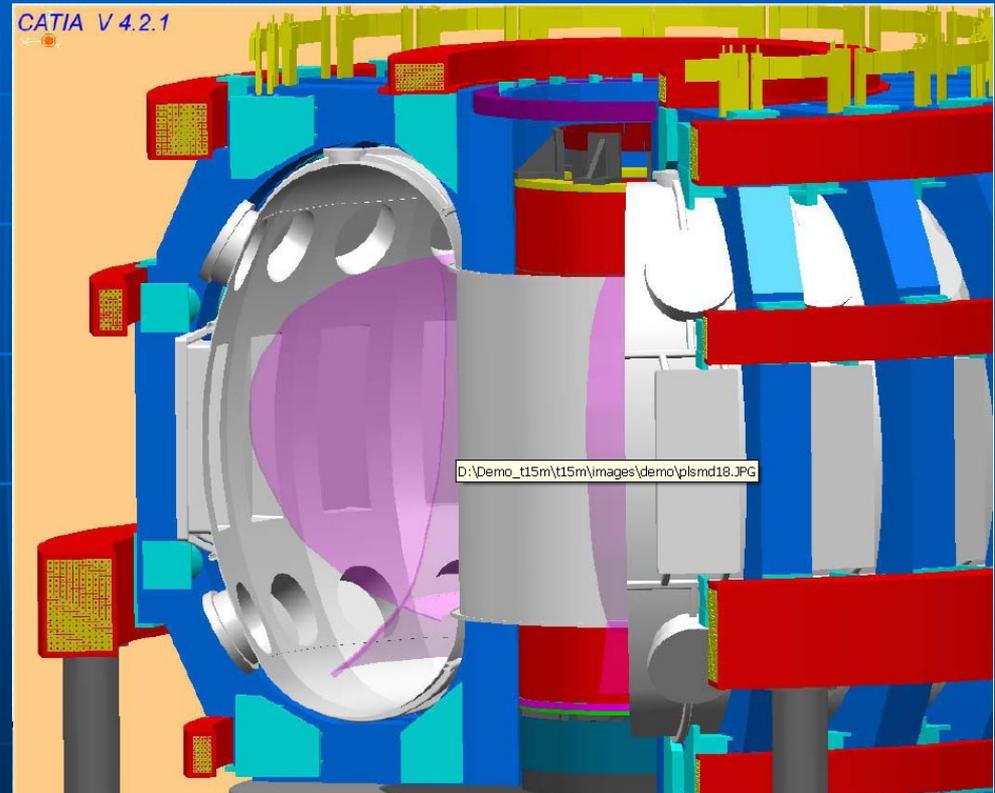
Разработка новых плазменных
технологий, включая космические
двигатели

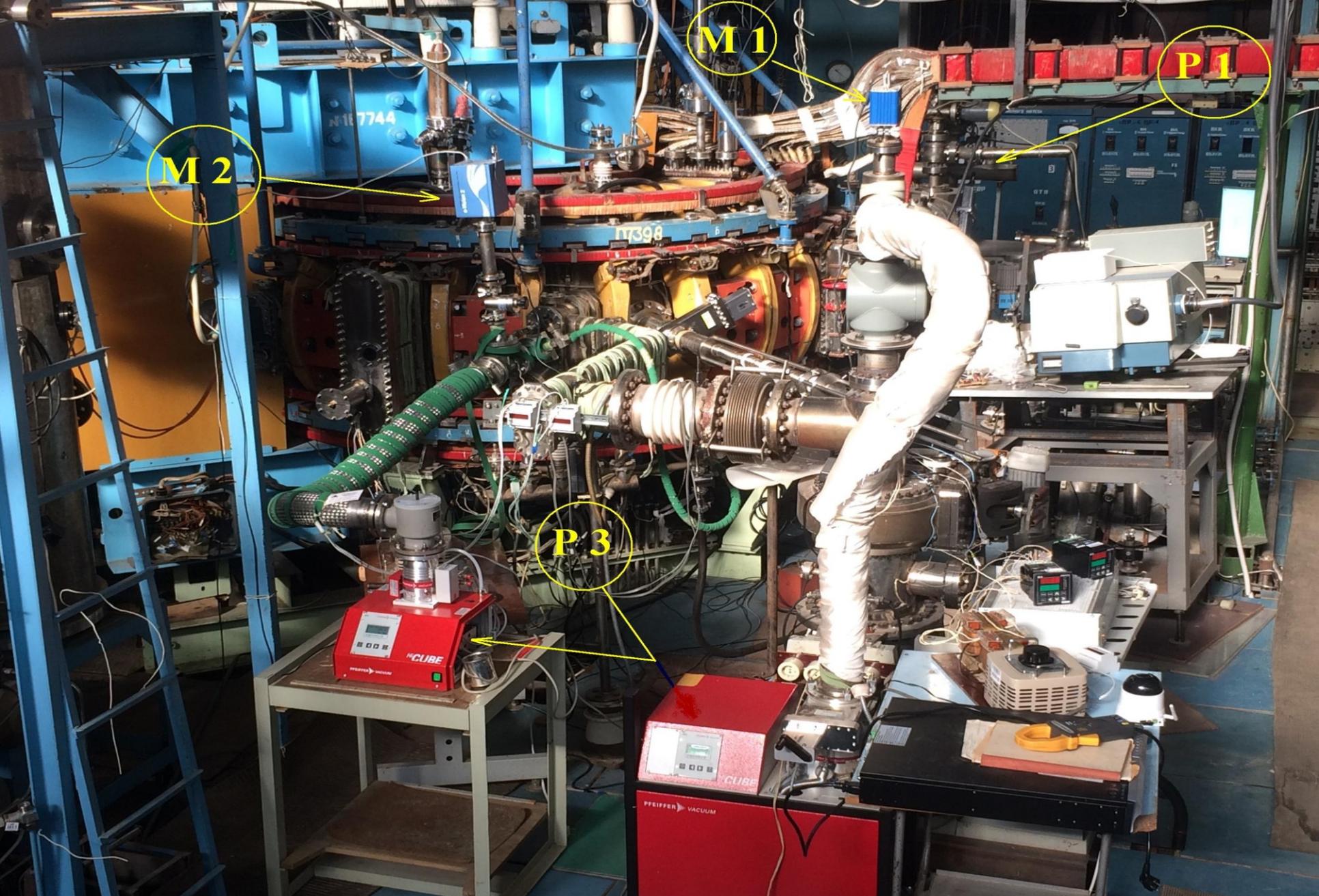
Важный шаг –токамак Т-15МД

Токамак сооружается в
НИЦ «Курчатовский
институт».

Запуск 2019

Главная задача – найти
пути **стационарной**
работы, набраться опыта
и **подготовить кадры**





Токамак Т-11 в ТРИНИТИ – здесь работают наши студенты

Но зажечь реакцию можно и в небольшой установке



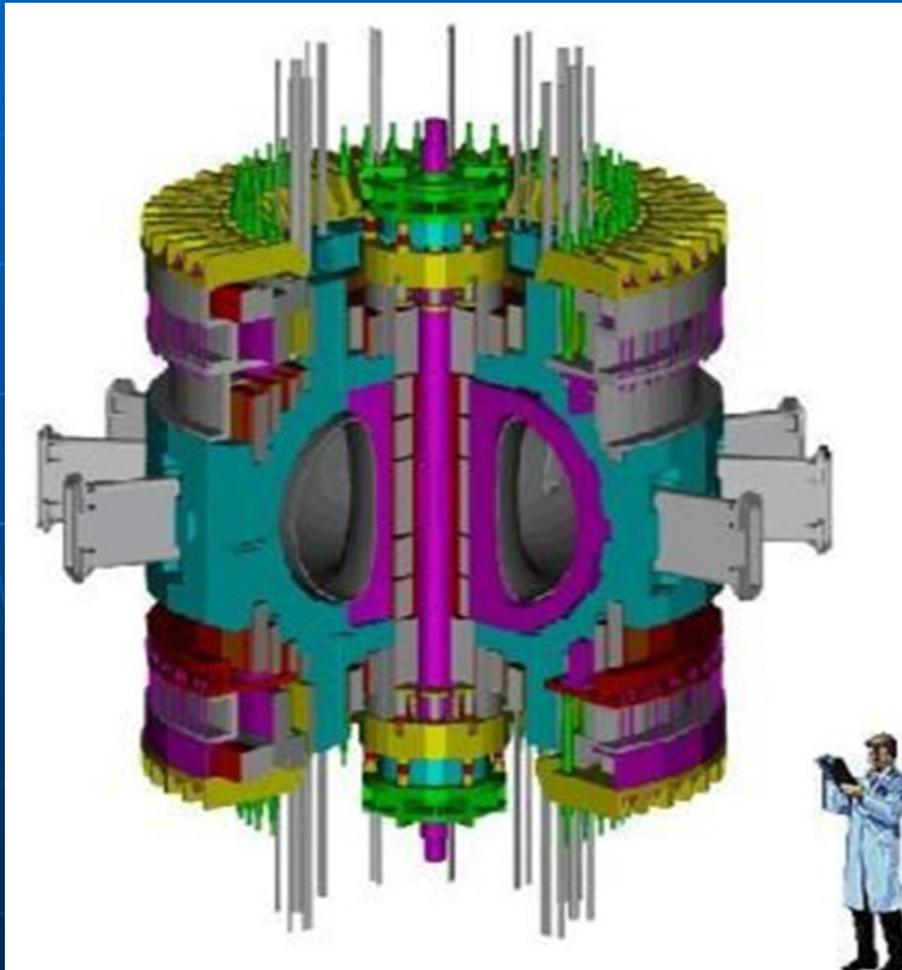
ИГНИТОР

Для этого надо сильно увеличить магнитное поле!

От 5Тл в ИТЭРе до ~ 14Тл в ИГНИТОРЕ

(при этом давление и нагрузки на конструкцию возрастают почти на порядок)

Токамак с сильным полем Игнитор (РФ –Италия) в ТРИНИТИ



Большой радиус R , м	1,32
Радиус плазмы a , м	0,47
Удлинение k	1,83
Треугольность δ	0,4
Объем плазмы V , м ³	10
Площадь стенок S , м ²	34
Длительность импульса τ , с	4+4
Ток плазмы I , МА	11
Тороидальное поле B_ϕ, Тл	13
Вертикальное поле B_z , Тл	6,5
Запас устойчивости q	3,5
Мощность допгрева P , МВт	18
Температура в центре, кэВ	16
Плотность в центре, м ⁻³	$9,5 \cdot 10^{20}$

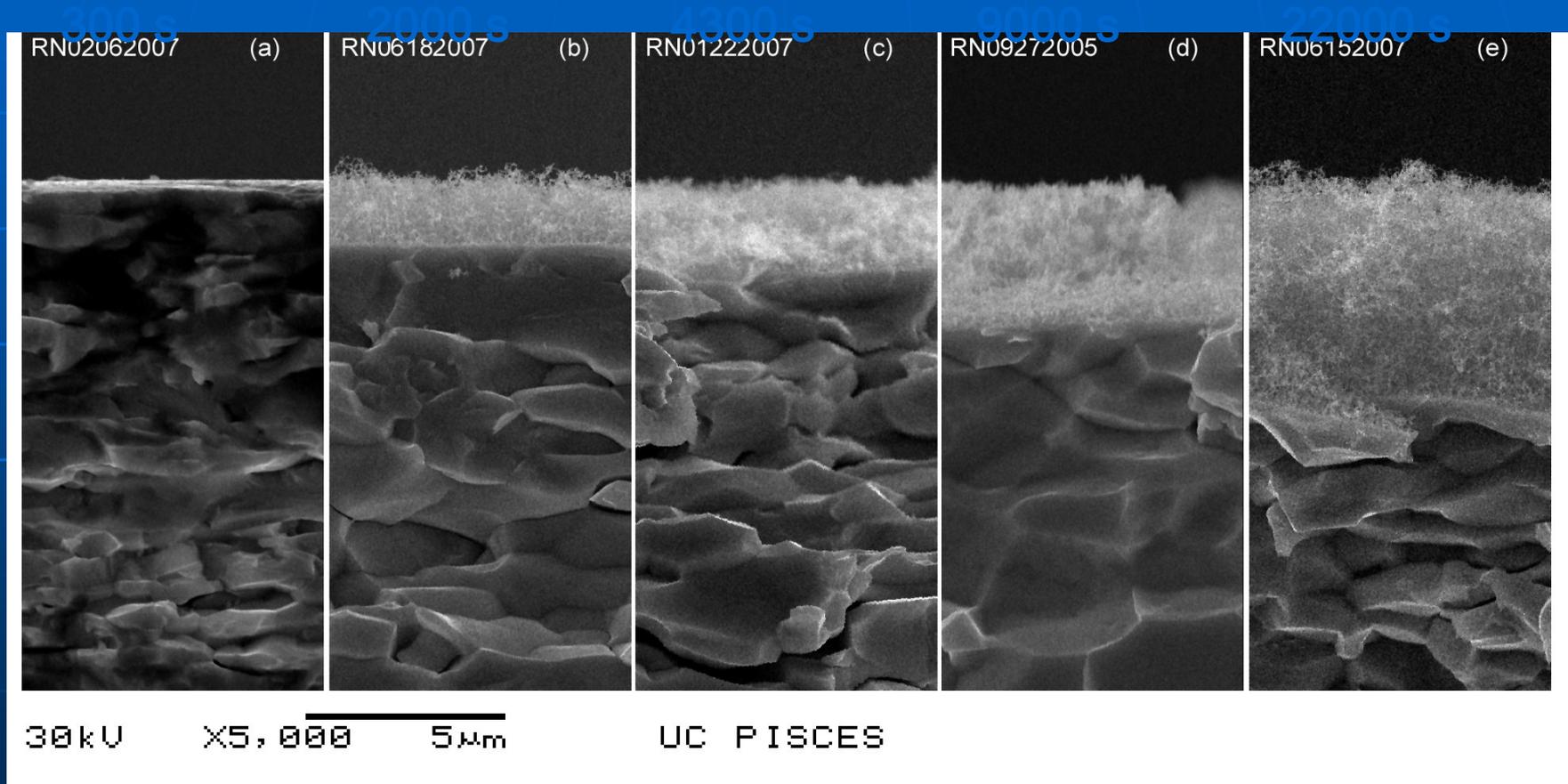
Взаимодействие плазмы со стенкой

Это одна из наиболее критических проблем в УТС с магнитным удержанием

На кафедре функционирует ведущая научная школа РФ по данной проблеме

Образование W «пуха» при облучении в He плазме

Consistent He plasma exposures: $T_s = 1120$ K, $\Gamma_{\text{He}^+} = 4\text{--}6 \times 10^{22}$ m⁻²s⁻¹, $E_{\text{ion}} \sim 60$ eV





**Li protuberance
from
longitudinal Li
limiter of T-11M
during MHD
event or
runaway
electrons
impact**

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #3

4 ms between shots

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



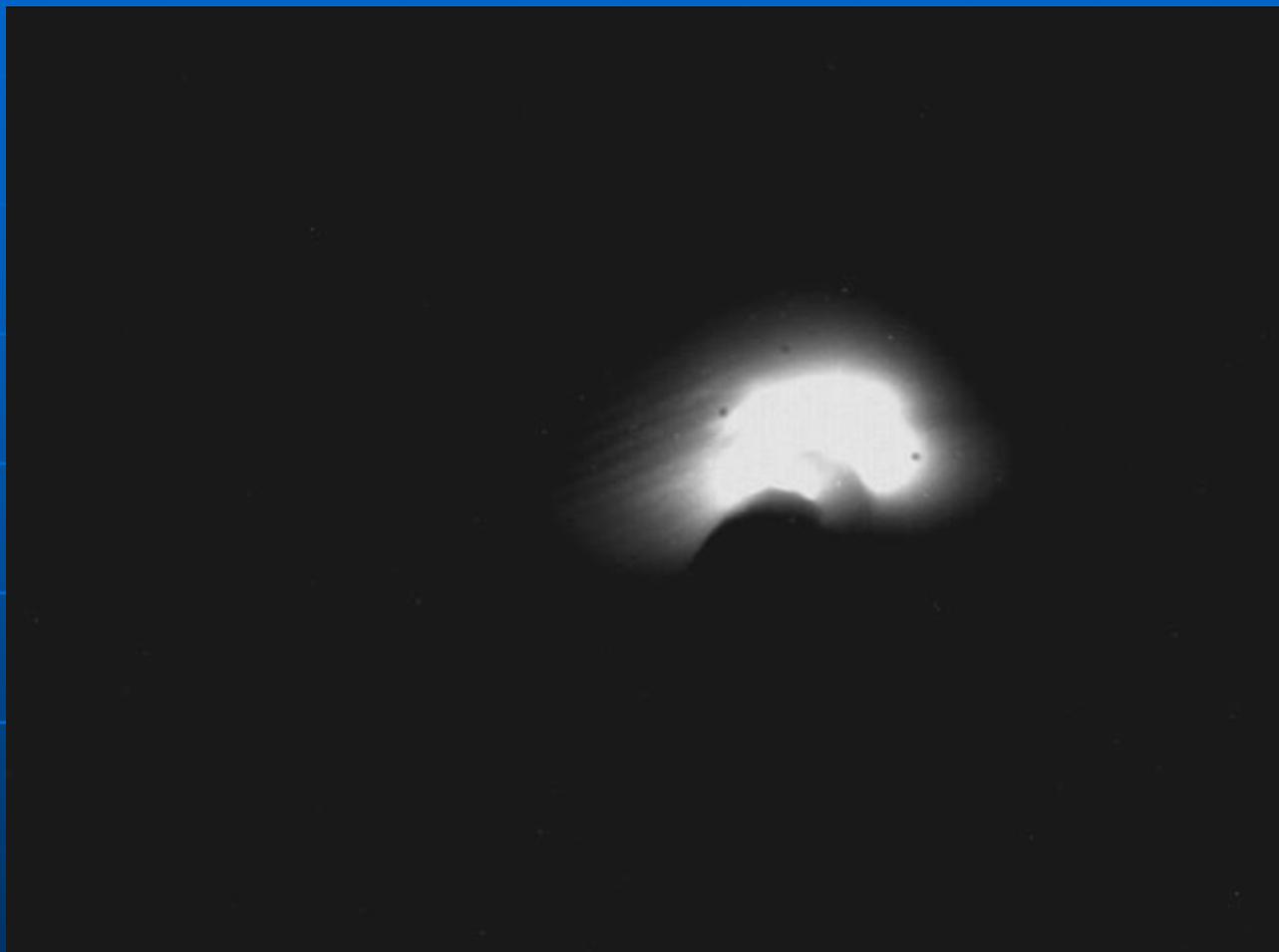
разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #4

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



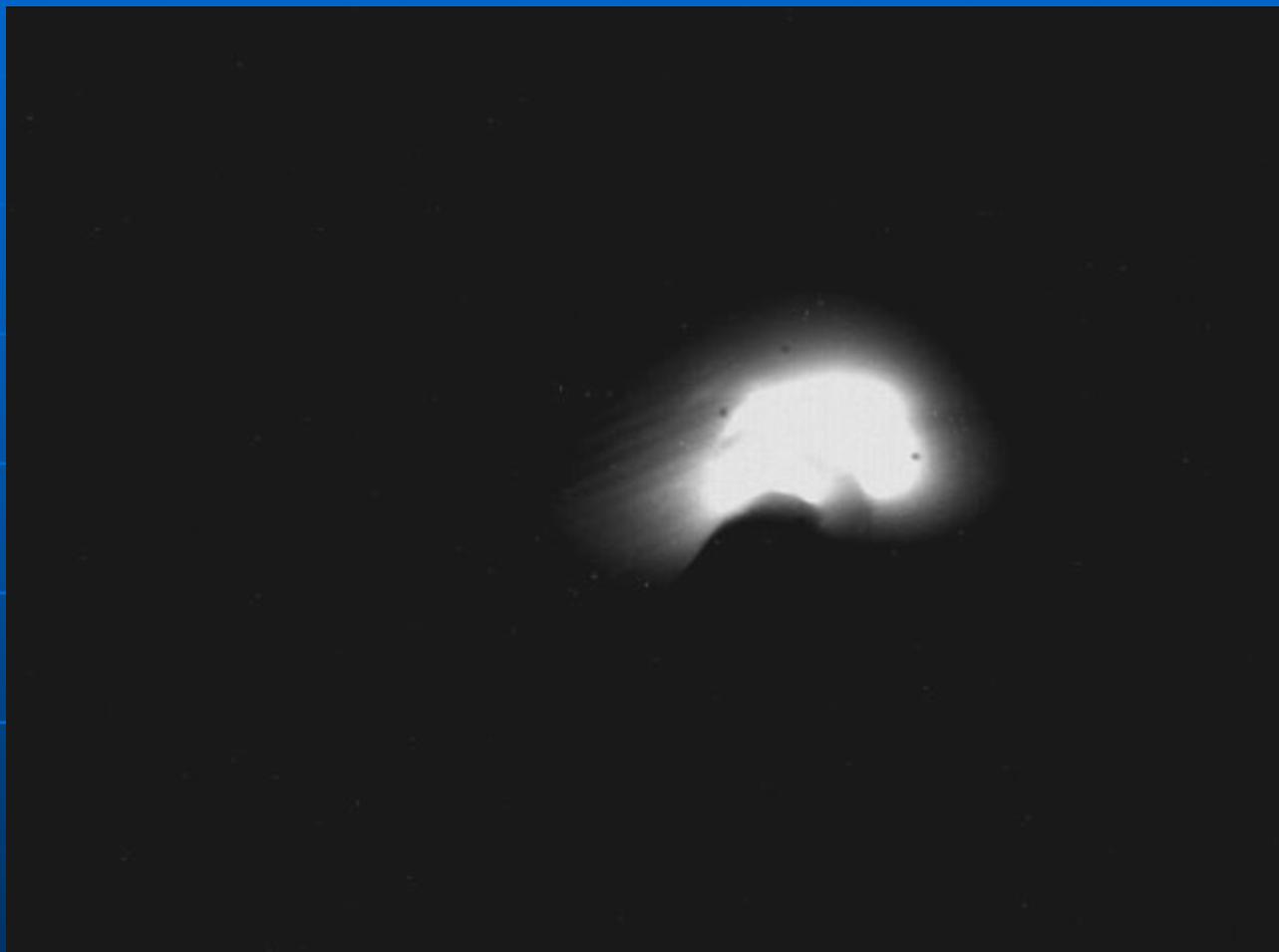
разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #11

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #12

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #13

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #14

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #15

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #16

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #17

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



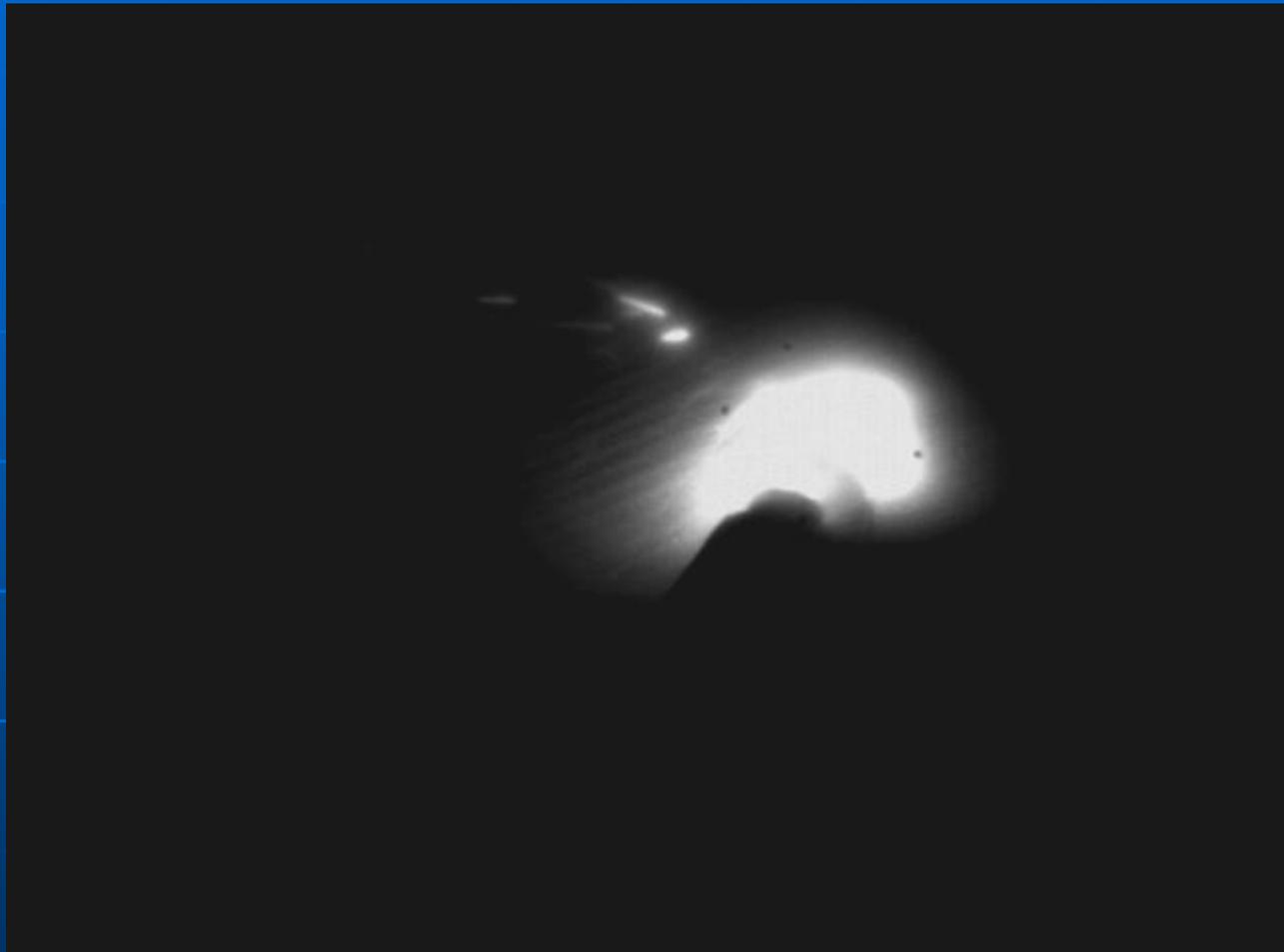
разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #18

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



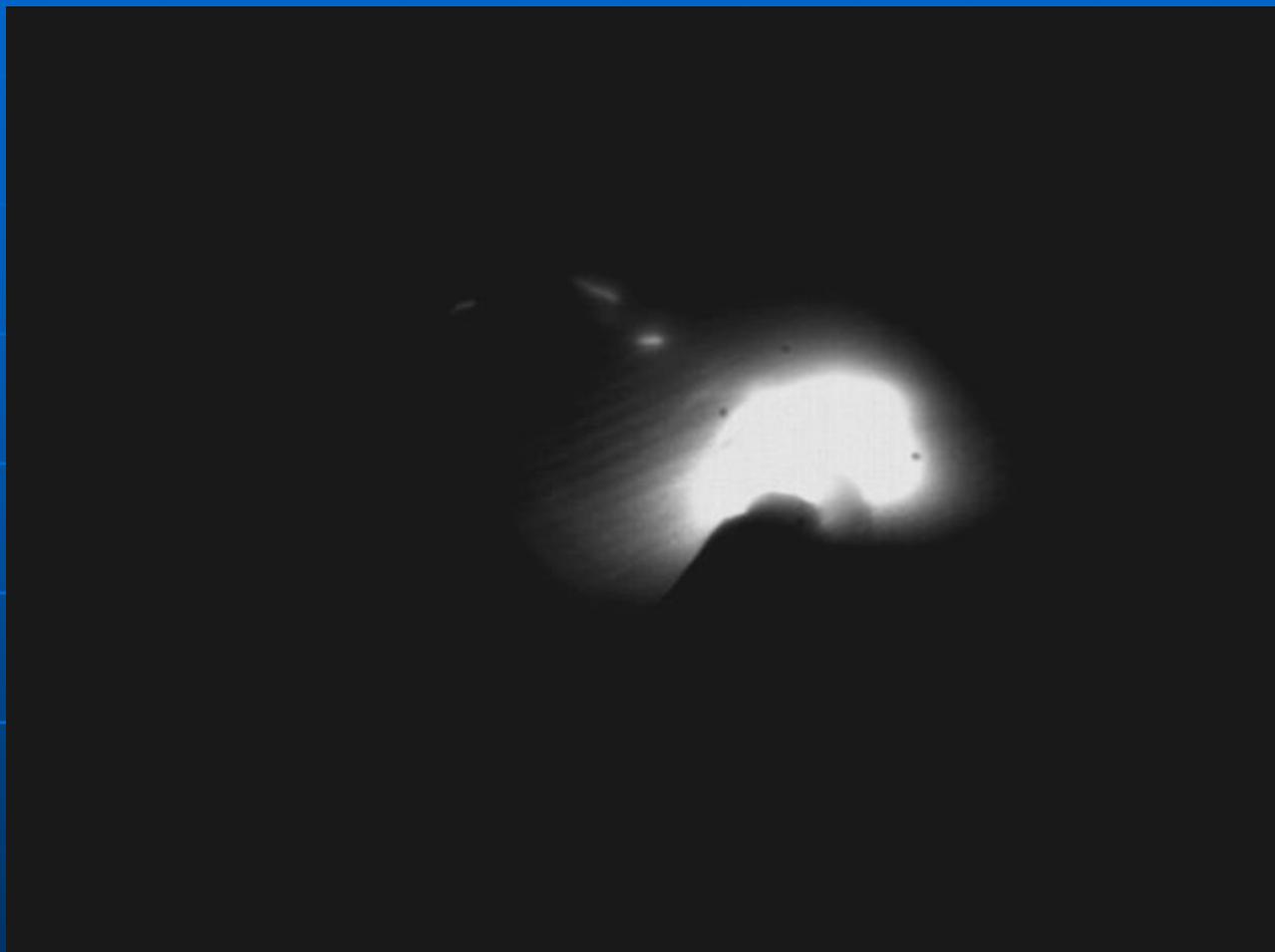
разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #19

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #20

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #21

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #22

T-11M, #33860, 06.03.14, продольная Li-диафрагма



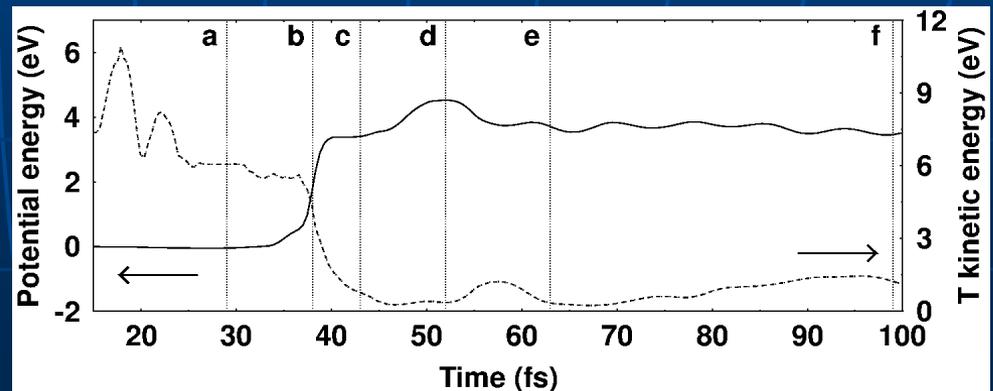
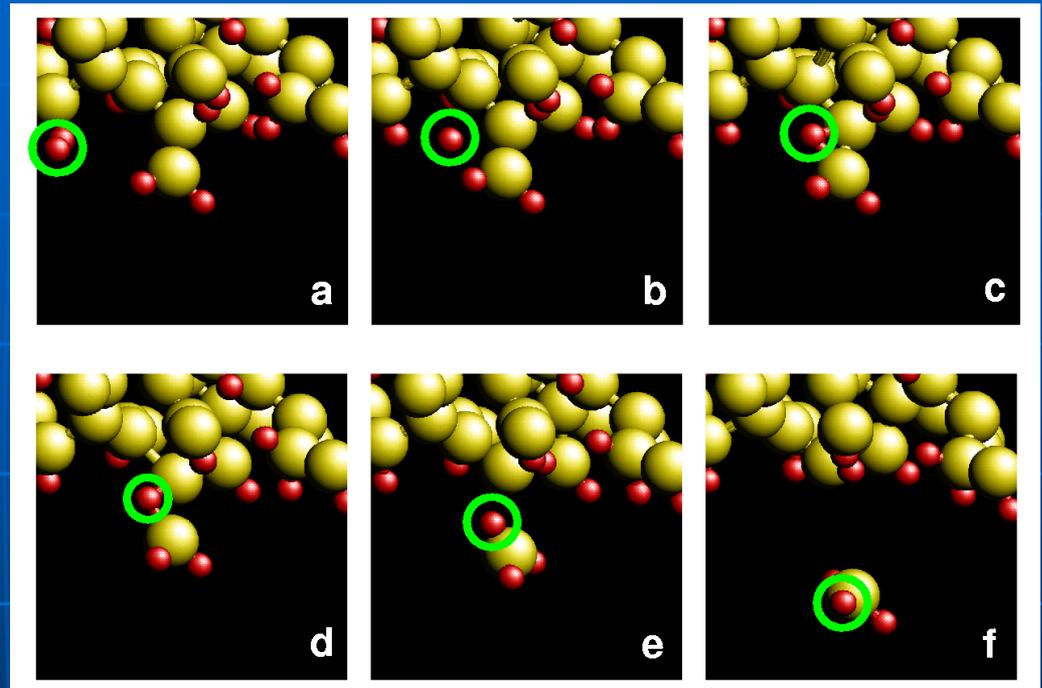
разрешение - 640 × 480 точек; частота – 249 Гц; экспозиция – 4 мс; оптический фильтр на линию LiI (670,8 нм); схема сохранения данных – разр. 2-9 АЦП-10;
кадр #23

МД в моделировании облучения графита ионами водорода

- The H ion hits the middle of a C-C bond. This raises the energy enough to break the chemical bond
- Process is energetically unfavorable

(endothermic)

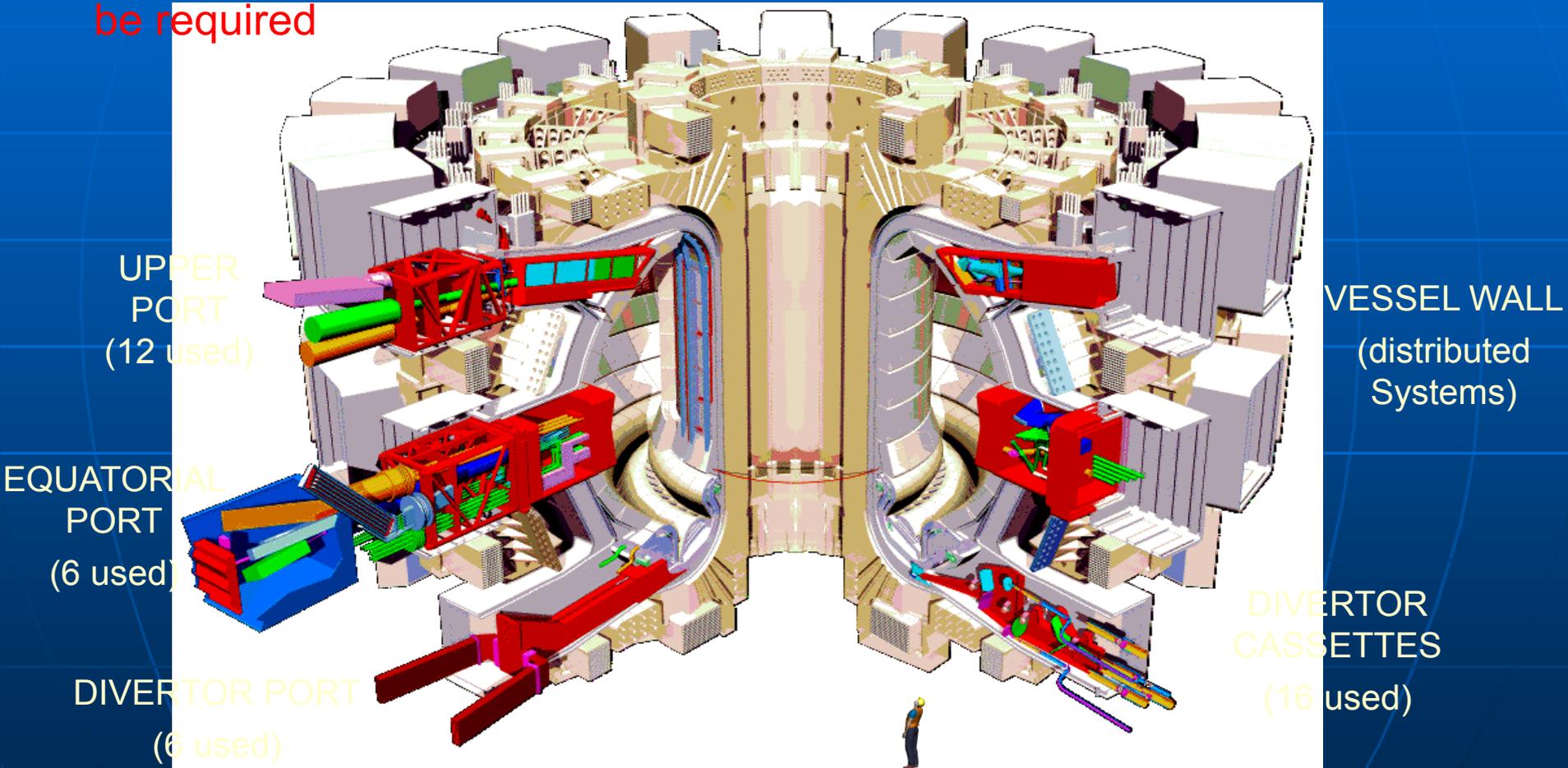
[Saloner et al, J. Chem. Phys. 112 (1999) 2242; Phys. Rev. B 63 (2001) 195415; A. Krasheninnikov et al, Comput. Mater. Sci. 25 (2004) 427]



Диагностика плазмы

About 40 major diagnostic systems (= very well diagnosed)

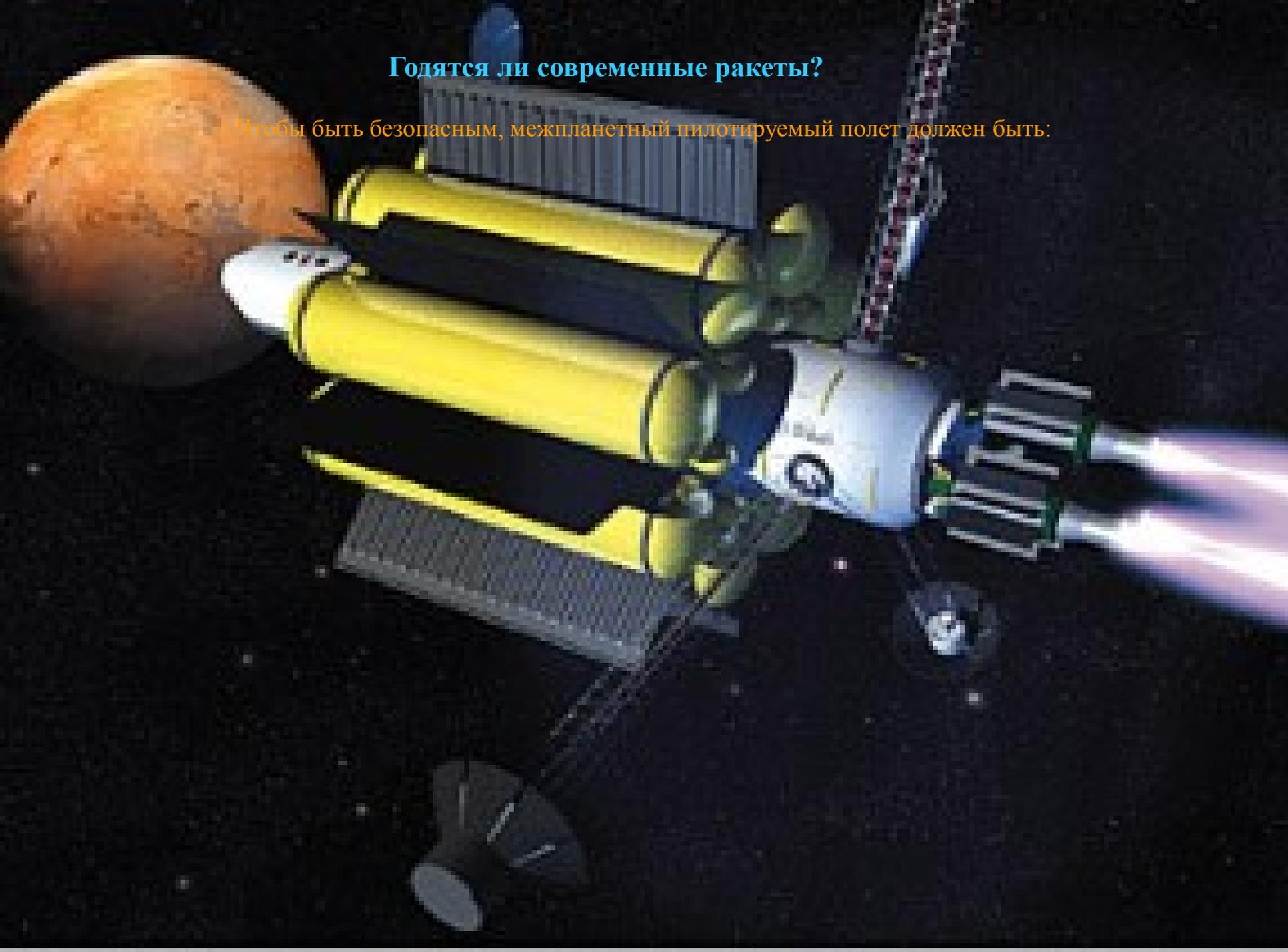
- For machine protection, control and physics studies
- Can reach peta-bytes of raw data on a "good day" → intelligent filtering will be required

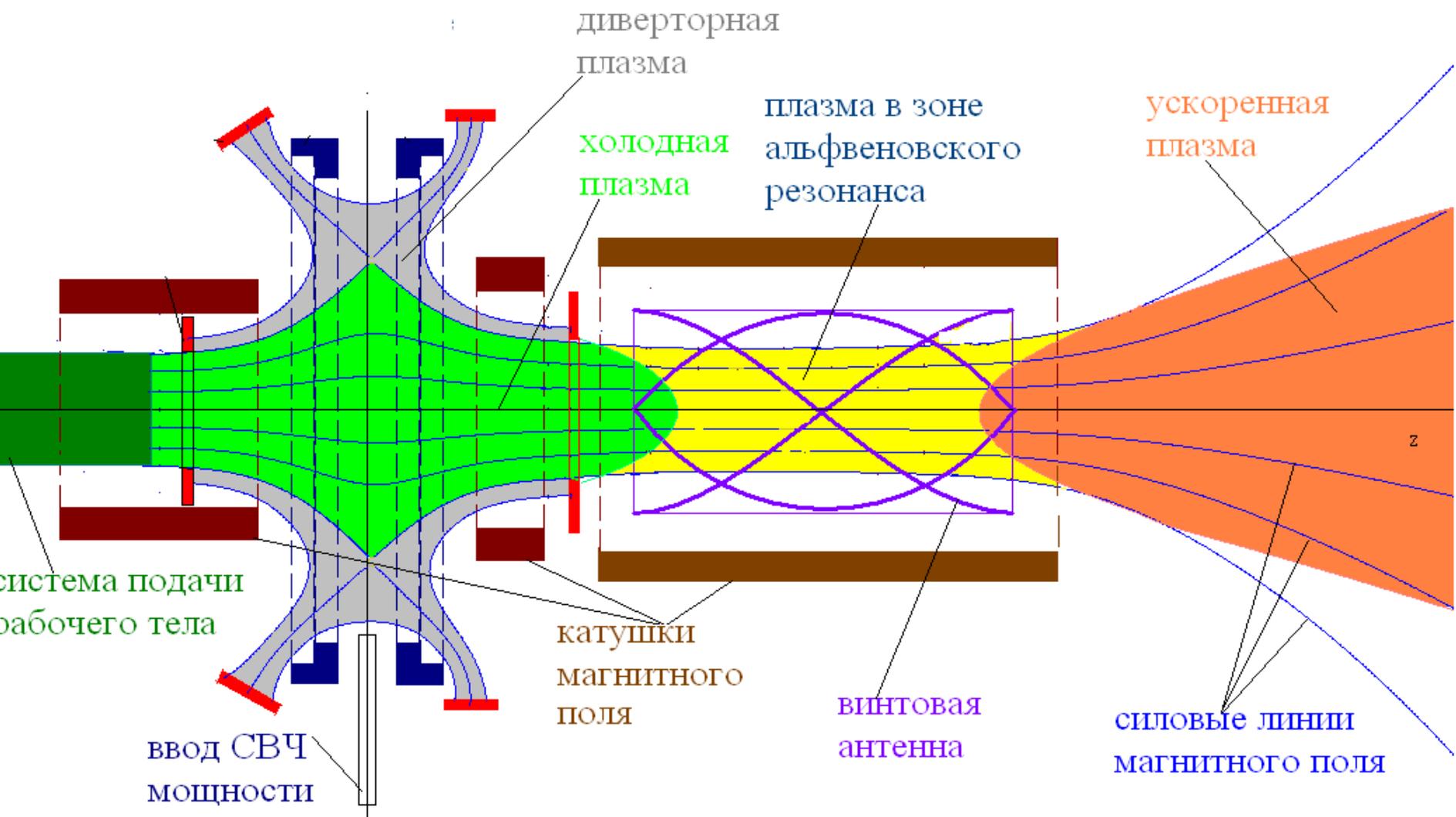


Плазменные технологии

Годятся ли современные ракеты?

Чтобы быть безопасным, межпланетный пилотируемый полет должен быть:





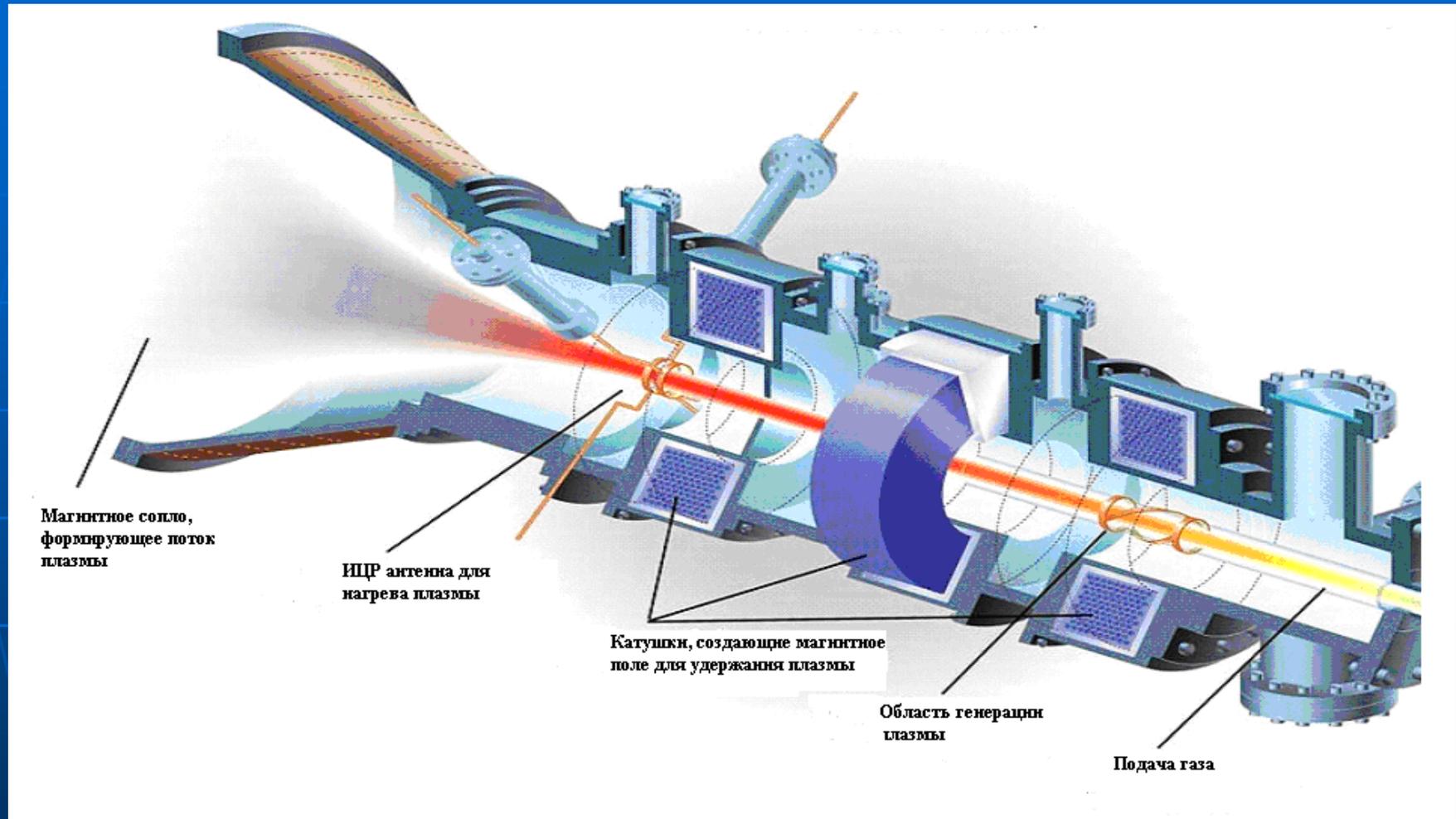
генератор холодной плазмы

система нагрева ионов на ИИР

магнитное сопло

z

США, проект VASIMR, эксперимент, 200 кВт



Создан полетный вариант. Планируется его испытание на МКС

Транспортно-энергетический модуль

АТОМНЫЙ БУКСИР ДЛЯ КОСМОСА

Транспортно-энергетический модуль (ТЭМ) на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса

Высокотемпературный ядерный реактор (1600°K) с газовым (смесь гелия и ксенона) охлаждением активной зоны. Тепловая мощность – 3,4 МВт

Энергоблок с газотурбинными установками общей мощностью 1 МВт. Турбины вращаются со скоростью 60 000 об/мин под действием раскаленного газа из реактора. Предполагаемый срок работы – 10 лет

Электрореактивные двигатели: с их помощью на 1 тонне негорючего ксенона можно разогнать груз до скоростей, достижение которых требует 20 тонн взрывоопасных водорода и кислорода при использовании химических ЖРД

Приборно-агрегатный отсек со стыковочным узлом для полезной нагрузки или пилотируемого космического комплекса

Радиационная защита, в безопасной «тени» которой ТЭМ прячется от излучения реактора. Чтобы отодвинуть полезную нагрузку глубже в узкий конус «тени», применяется раздвижная ферма

Раздвижная ферма, длина которой увеличивается с 20 м при запуске до 50 м в полетной конфигурации. Общая масса ТЭМ – около 20 т, что позволяет выводить его на орбиту с помощью ракеты-носителя «Ангара-5»

Генератор капельного холодильника-излучателя (КХИ)

Капельный поток жидкого теплоносителя (кремнийорганическое масло или жидкий металл), струи которого «сбрасывают» тепло в космическое пространство

Вспомогательные солнечные батареи

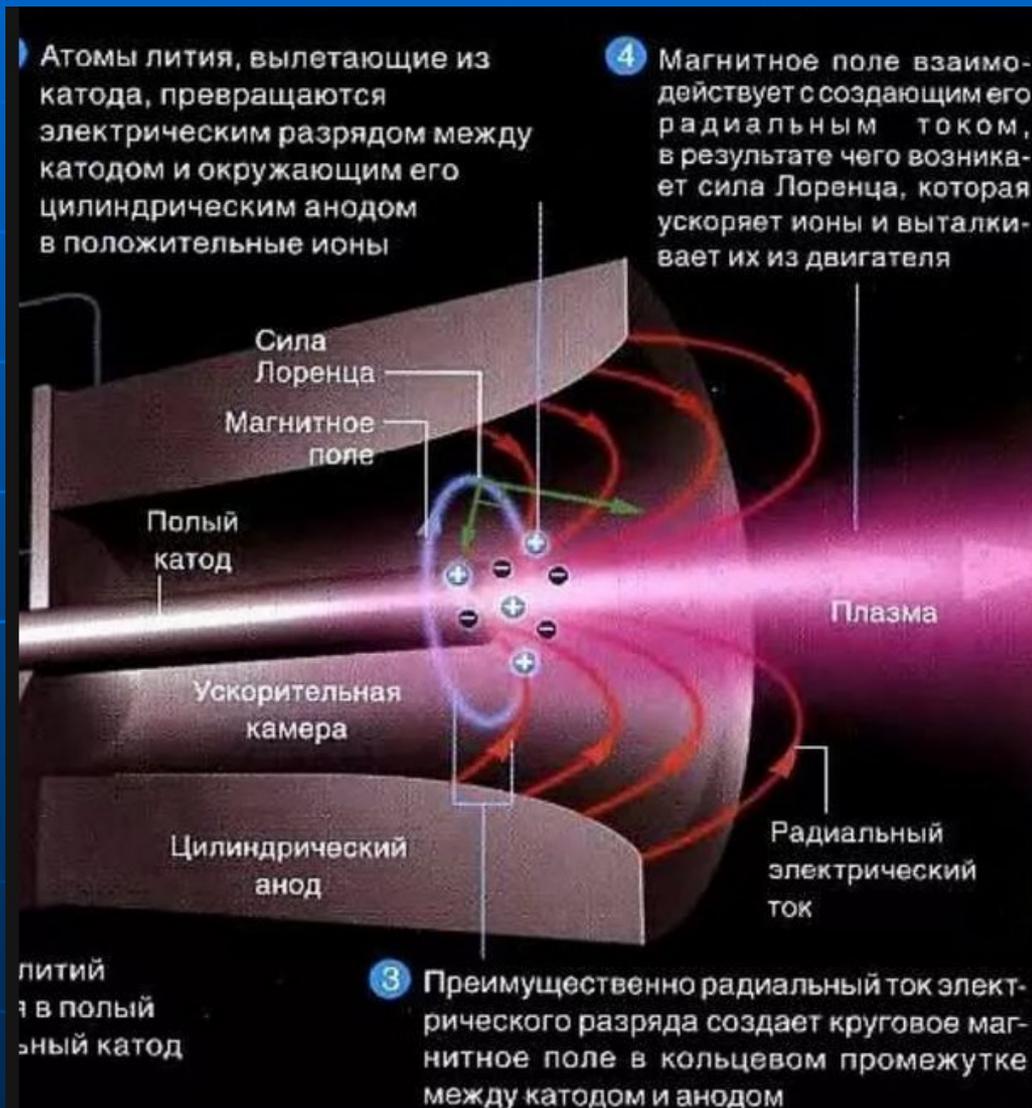
Боковые балки с гидросборниками капельного потока

Назначение:
Межорбитальная буксировка полезной нагрузки.

Передача на полезную нагрузку 225 кВт

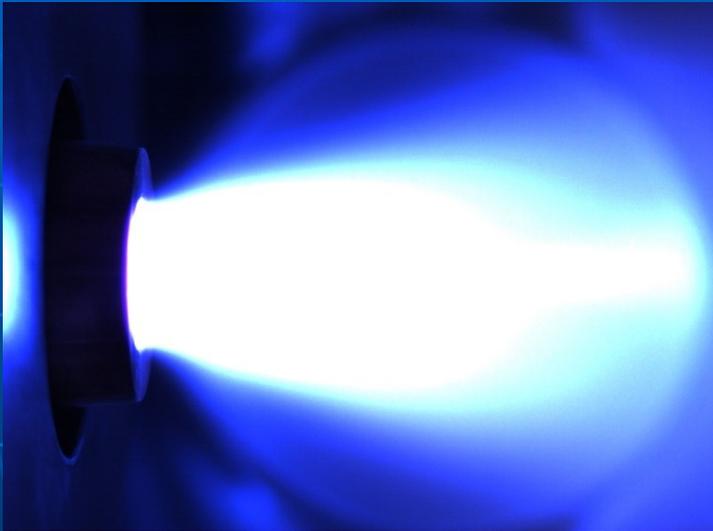
Наземные испытания прототипа реактора начнутся в 2018 году.

Магнитоплазодинамический двигатель (МПД)



Изобретен в Курчатовском институте, широко используется для коррекции орбит КА

Первый МПД с ВТСП катушкой

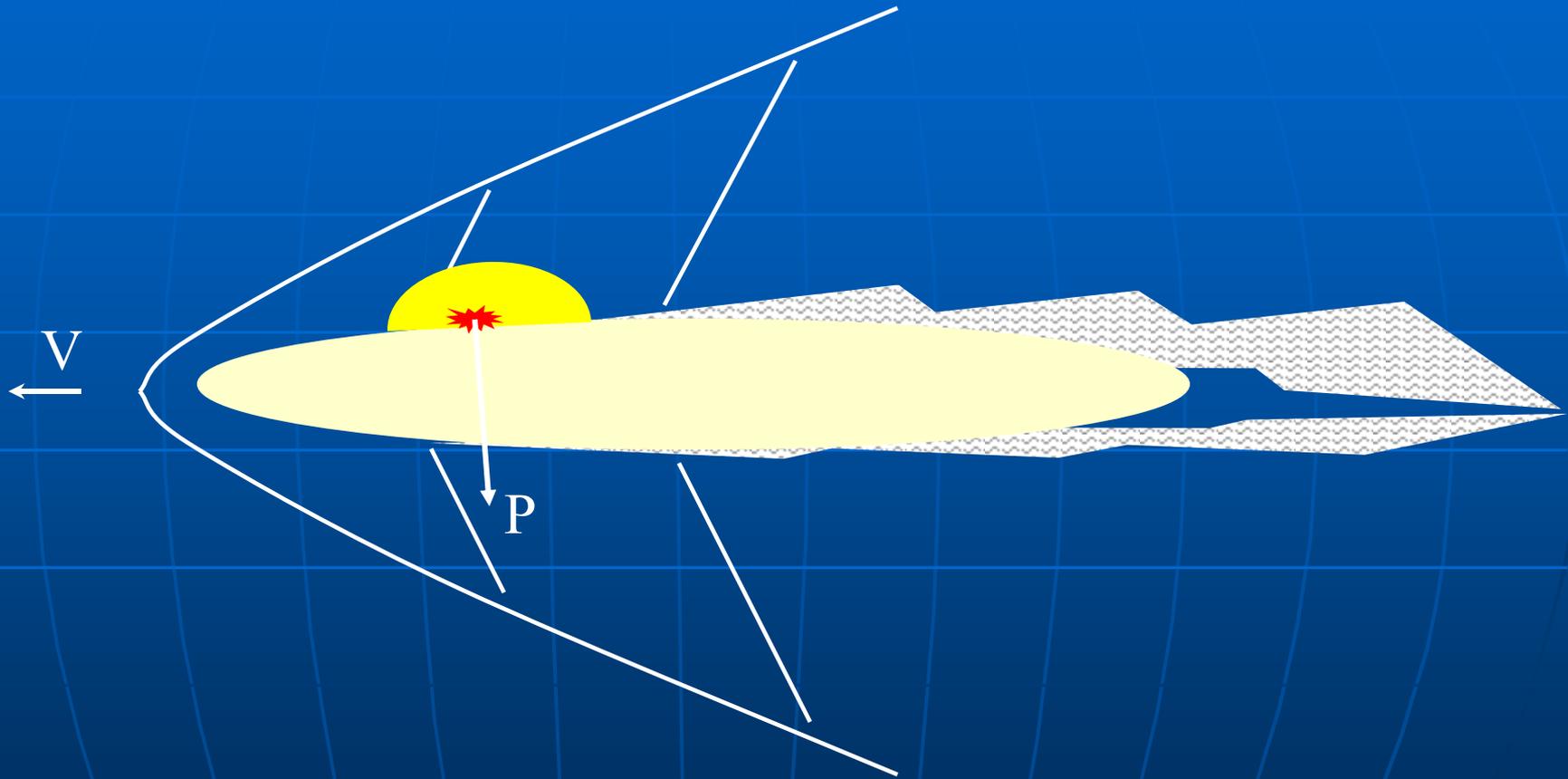


Факел из двигателя
25.08.2017



Главный разработчик – аспирант кафедры физики плазмы МИФИ Игорь Егоров с помощницей – студенткой 4 курса Ангелиной Прокопьевой

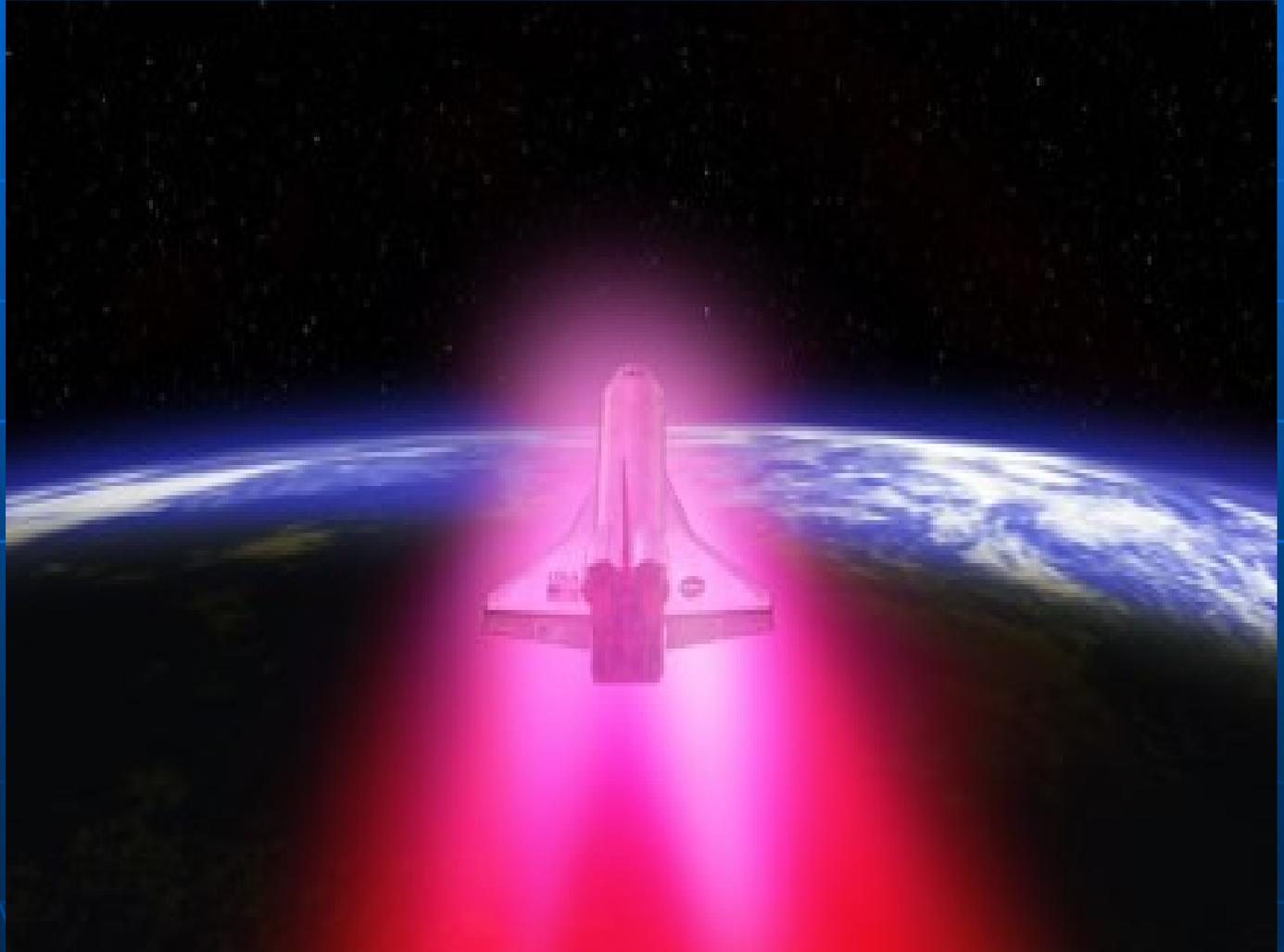
Схема воздействия управляющего усилия на летательный аппарат при создании на крыле плазмы

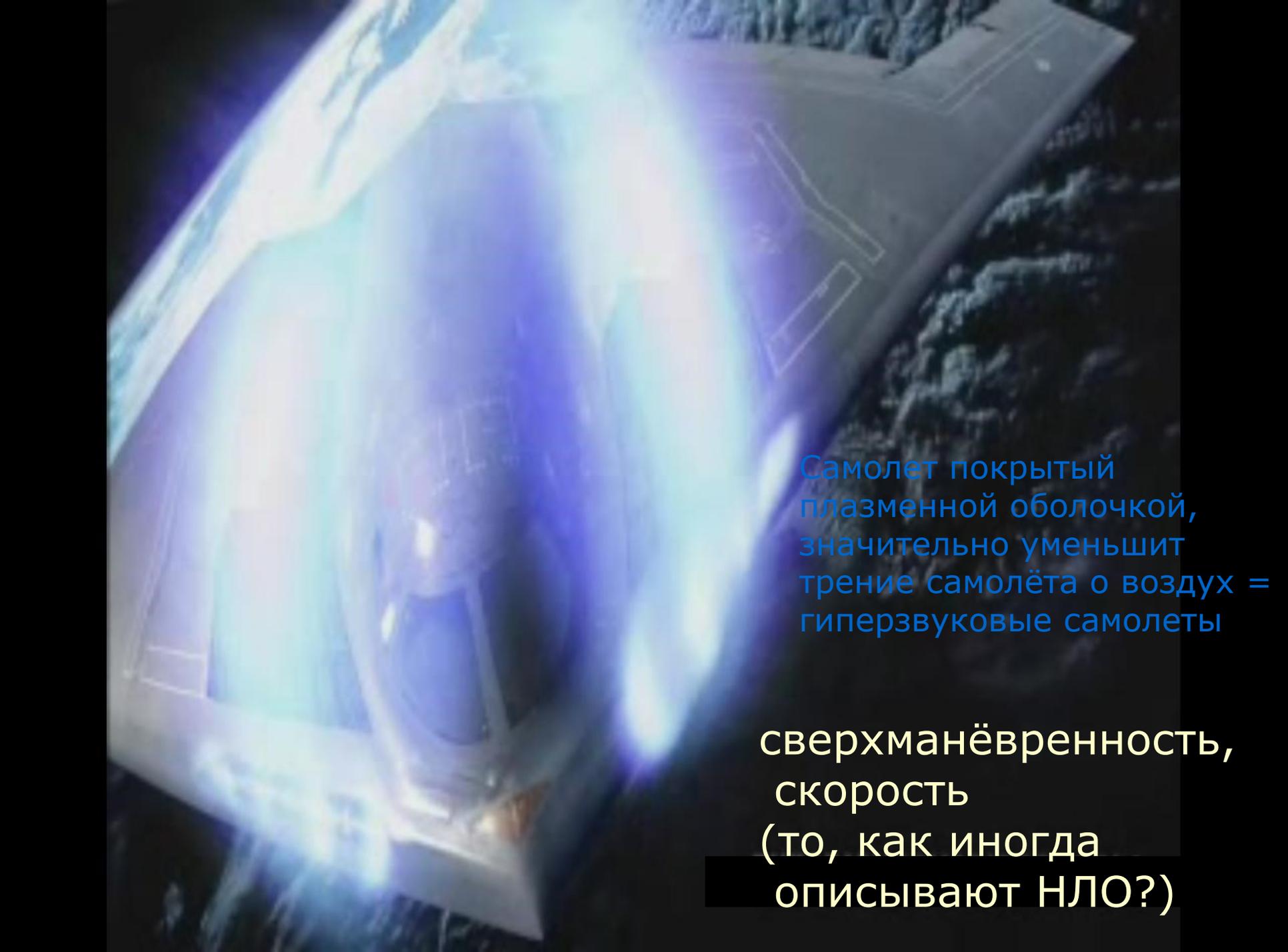


Образование плазмы при гиперзвуке

Гиперзвук –
это когда
скорость
 $v > 5M$

Тогда в
ударной
волне перед
аппаратом
начинаются
процессы
образования
заряженных
частиц и
среда сильно
меняет свои
свойства

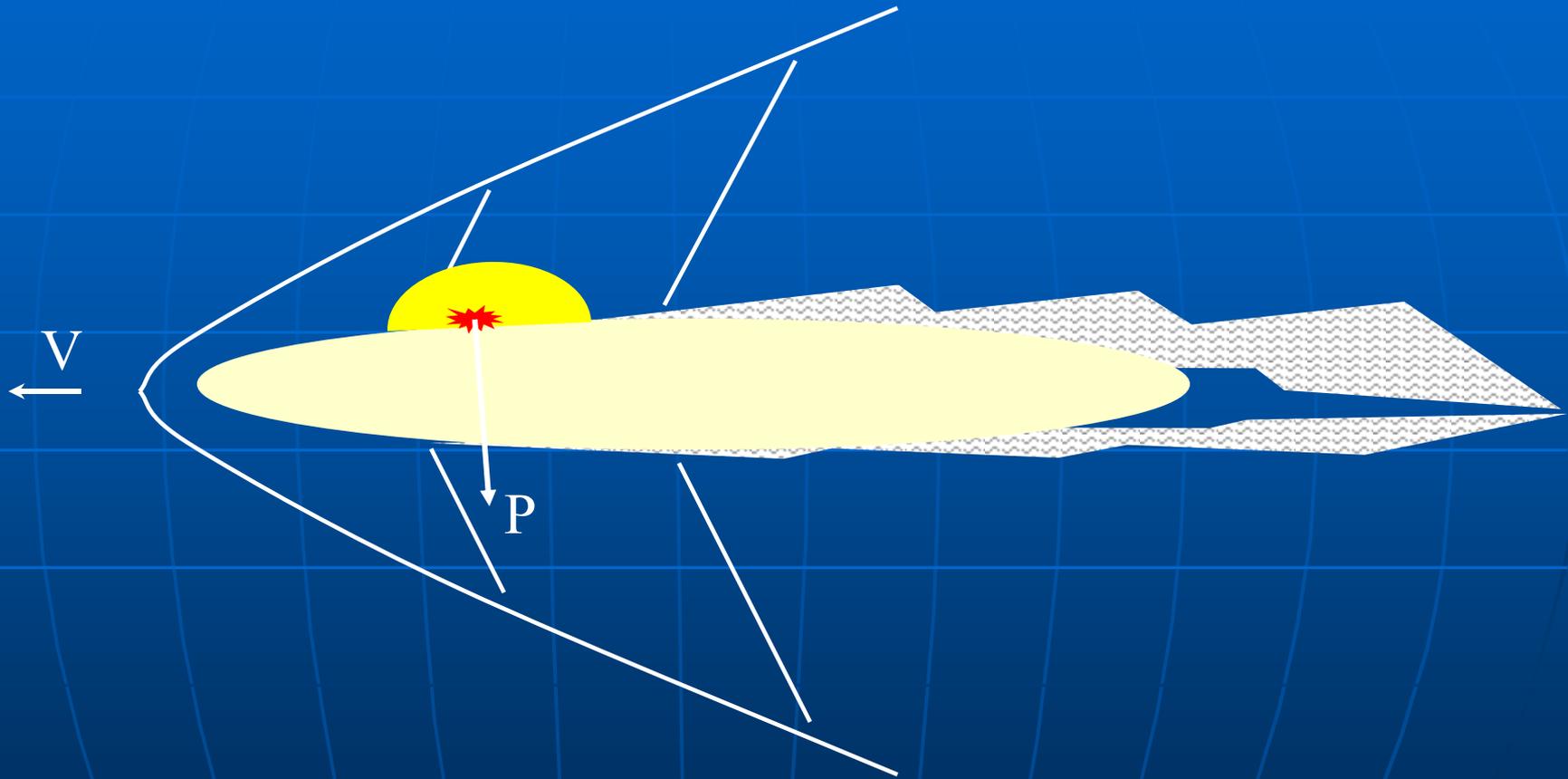




Самолет покрытый
плазменной оболочкой,
значительно уменьшит
трение самолёта о воздух =
гиперзвуковые самолеты

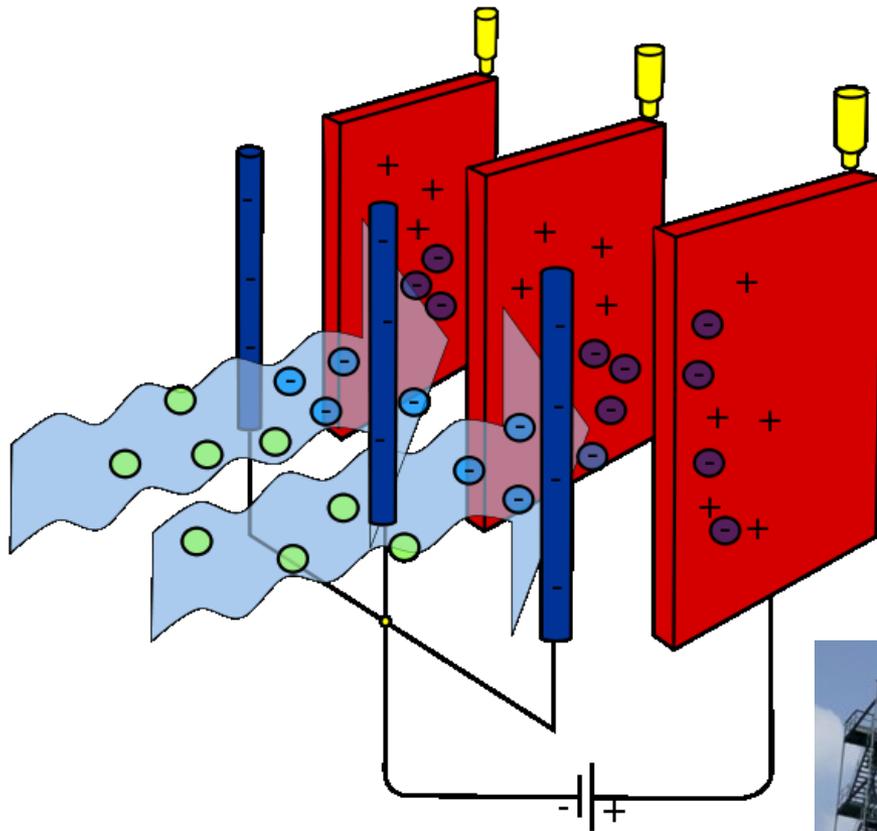
сверхманёвренность,
скорость
(то, как иногда
описывают НЛО?)

Схема воздействия управляющего усилия на летательный аппарат при создании на крыле плазмы



Electrostatic precipitator

Various types of ESP



Dust particles become charged in plasma, are attracted to electrodes, and come to the collector (analogue of “divertor” in tokamacs)

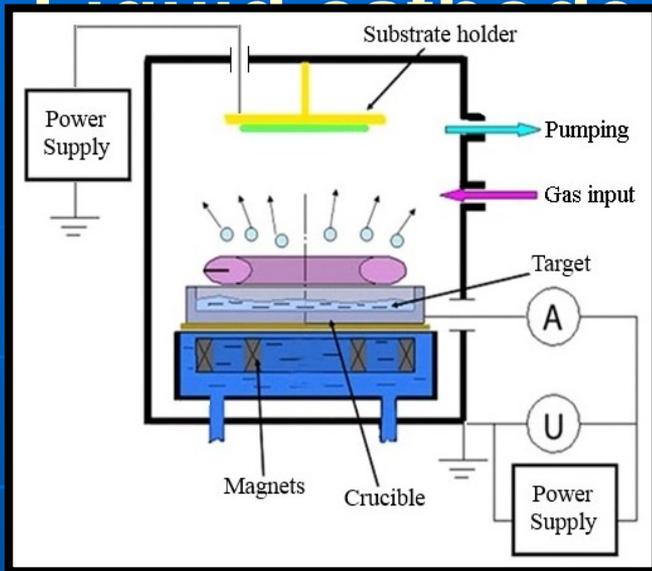


Новые плазменные технологии

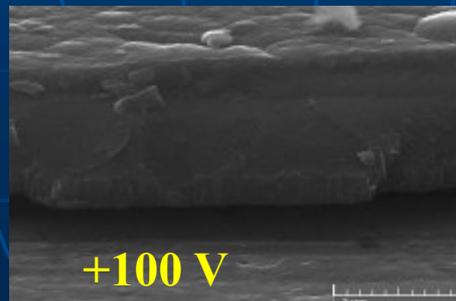
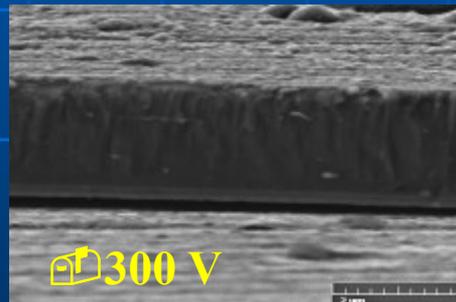
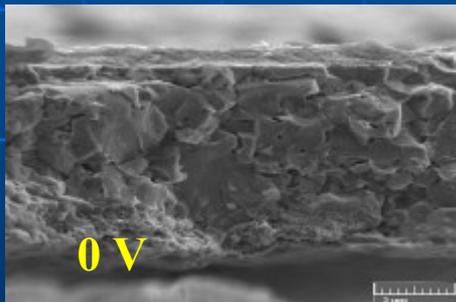


Новый магнетрон на кафедре 21 с жидким катодом = рекордные скорости нанесения покрытий

НИЯУ
МИФИ,
ТРИНИТИ,
НИЦ КИ
+ малые
ООО и
много
других

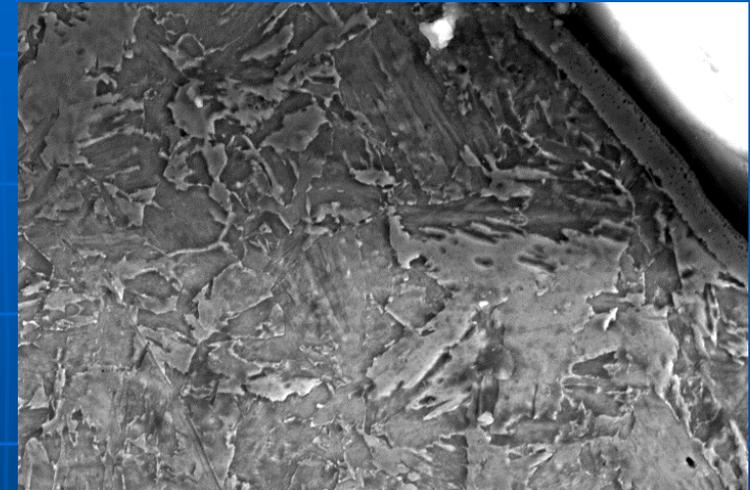
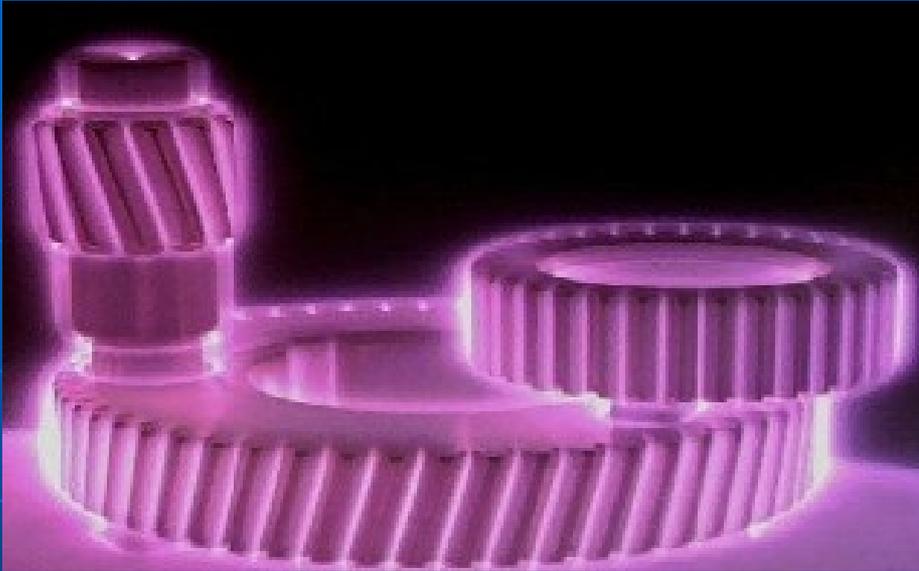


- Metal plasma
- High flux of ions: $\geq 10\%$;
- High deposition rate;
- Bias voltage: from $\ominus 600\text{ V}$ to $+100\text{ V}$

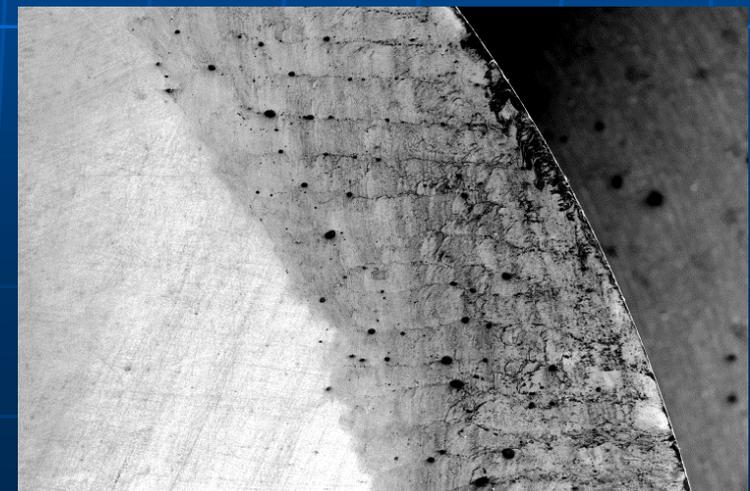


- Ultrahigh deposition rate
- $1.2\ \mu\text{m}/\text{min}$ at the bias voltages of $+100\text{ V}$ and 0 V was
- $0.2\ \mu\text{m}/\text{min}$ at -600 V
- structure changes with bias
- Very dense structure an high negative bias (ion assisted deposition) Instead of on implantation

Plasma nitriding



SEI 20kV WD10mm SS52 x1,700 10µm
ONIL-709 0000 03 Oct 2012



SEI 5kV WD39mm SS52 x22 1mm
ONIL-709 0000 03 Oct 2012

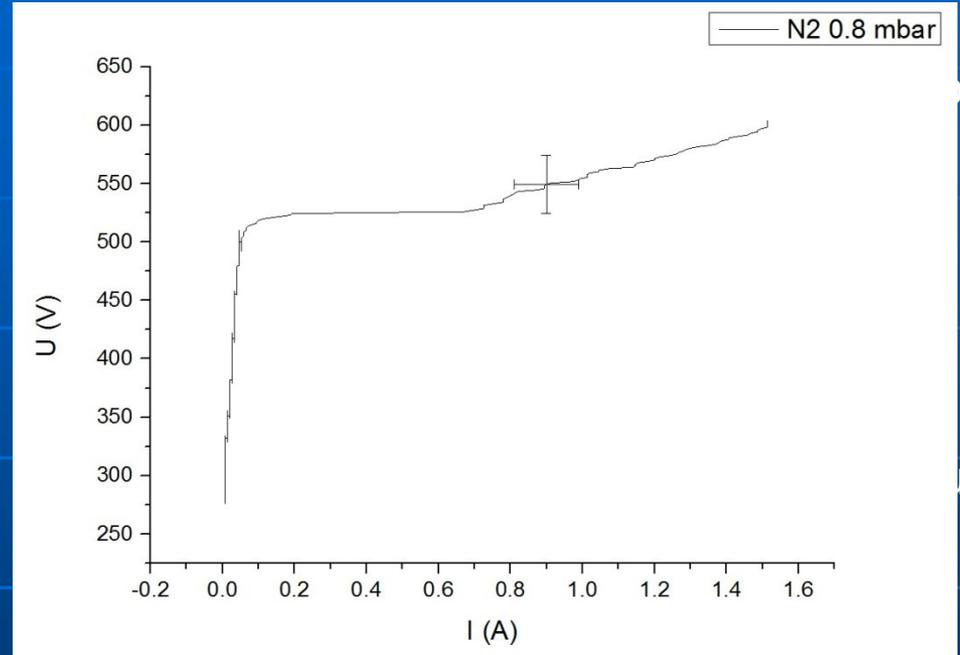
Plasma covers uniformly the surface

Modification at depths of mm range!

Mechanism – N-C substitution near the surface and carbide formation deeper in the bulk

Abnormal glow discharge in tubes

This is not hollow cathode discharge



Tubes 6-20 mm in diameter 2-15 cm long

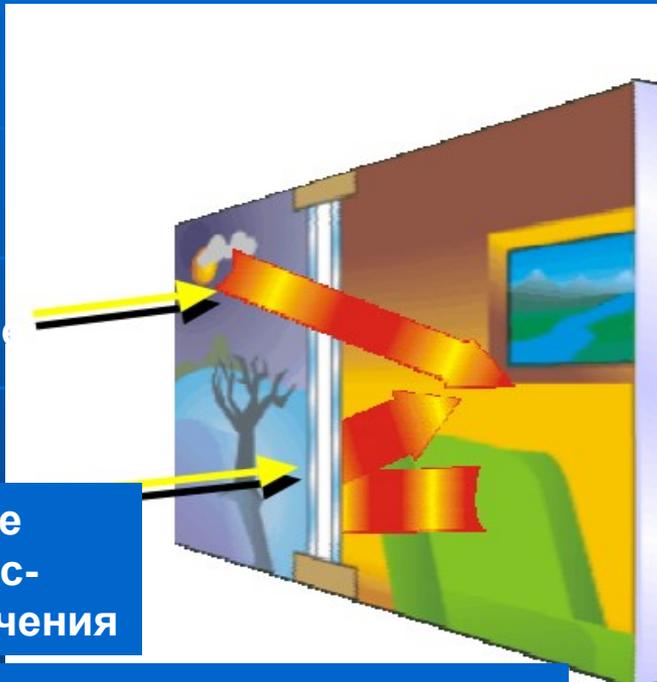
1 mbar, 30 kHz, Ar+H+N, 3-6 eV, $(0.5-5)10^{10} \text{ cm}^{-3}$

Декоративные покрытия



Энергосберегающие покрытия

Видимое излучение



Отражение инфракрасного излучения

Цепочка установок для плазменной обработки стекол



Опреснительная гелиотермическая установка, созданная в МИФИ с помощью плазменной технологии дает 1 тонну пресной воды в день



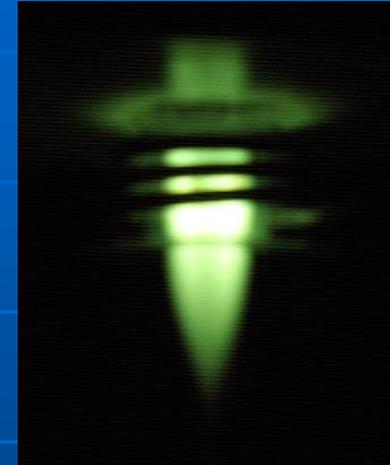
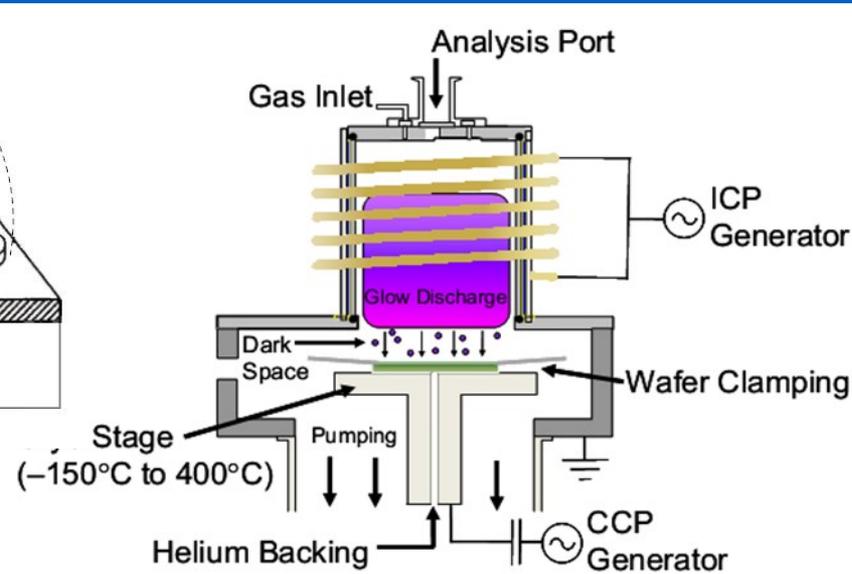
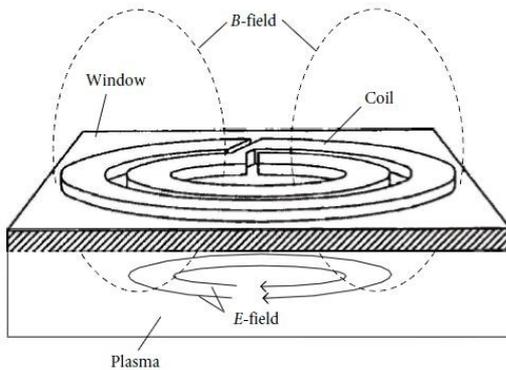
Микроплазмотрон для медицинских применений



Под действием образующихся в «холодной» плазме радикалов и излучения микроорганизмы быстро погибают, а раны быстрее заживают!

Etching in semiconductor industry

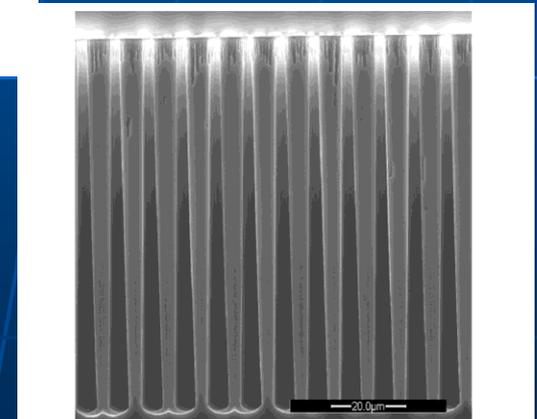
Typical example: Inductively coupled and capacitively coupled RF plasma



RF current creates RF magnetic field that creates RF electric field that produces RF plasma

$1 \div 100 \text{ MHz}$
 $0.1 \div 1000 \text{ Pa}$
 $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ e}^-/\text{cm}^3$

Si structure



Образование «тренчей»



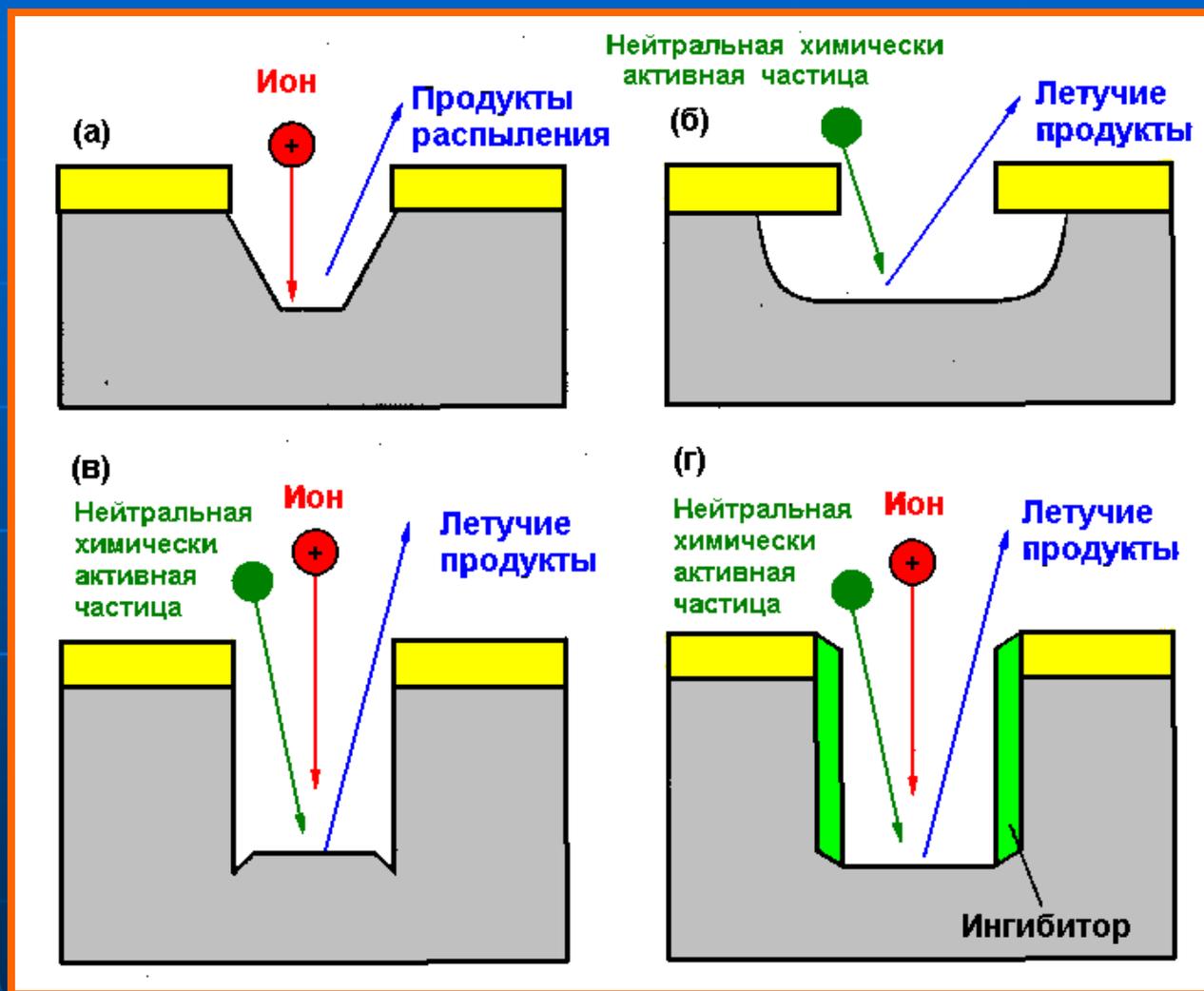
Формы тренчей
(канавок),
формируемых при
травлении.

(а)- физическое или
химическое
распыление;

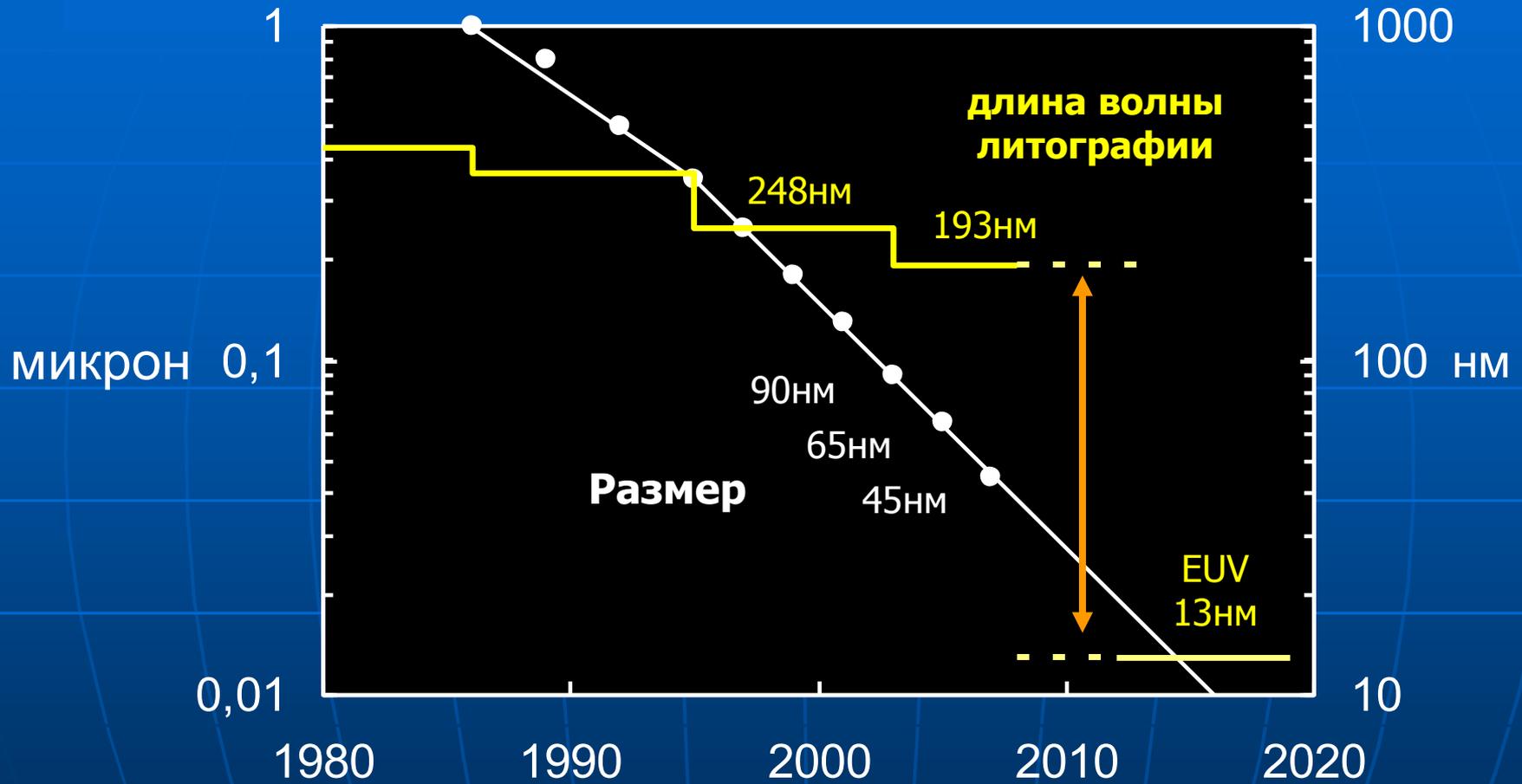
(б)-химическое
изотропное
распыление;

(в)-травление,
стимулированное
энергетичными ионами;

(г)-ионно-
стимулированное
травление с участием
ингибитора.

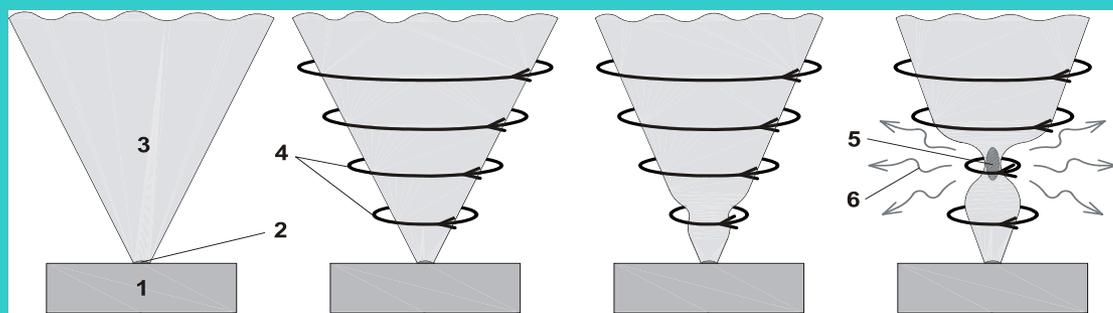
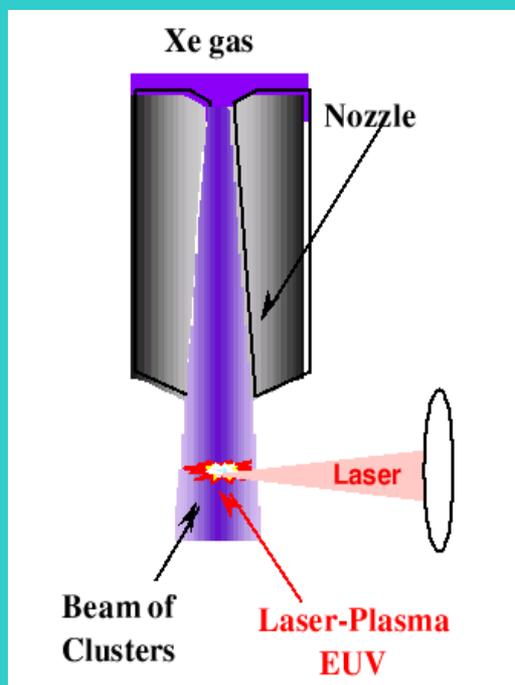


Литография



Выбор варианта литографии зависит от возможностей, затрат и готовности технологии

Лазерно-плазменные источники ЭУФ



**Разработанный в ТРИНИТИ
выпускником МИФИ
В.Борисовым источник на основе
микропинча оказался намного
эффективнее**

Extreme Ultraviolet Lithography

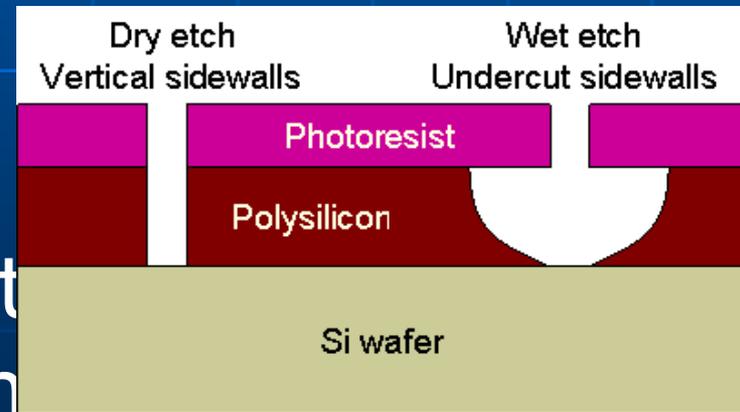
Key sub-systems

- Source
- Illumination/projection optics
- Mask
- Resist

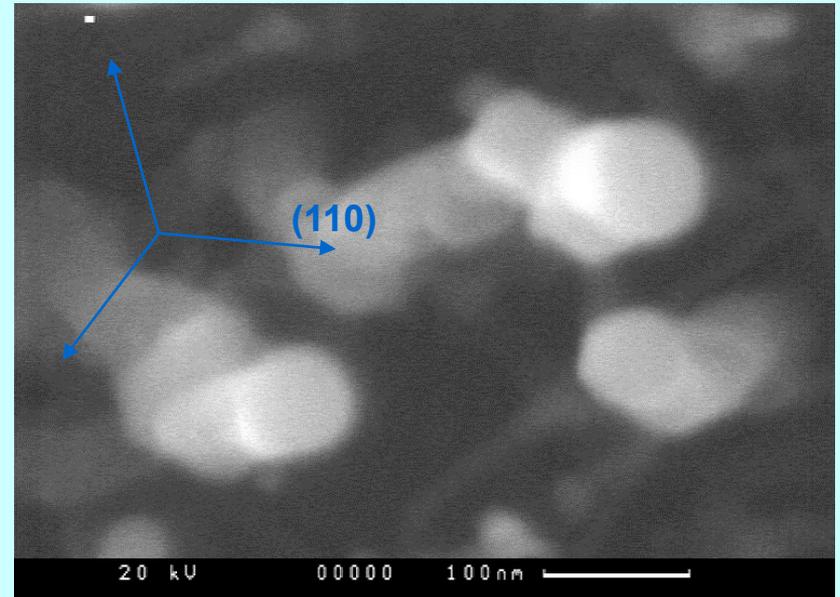
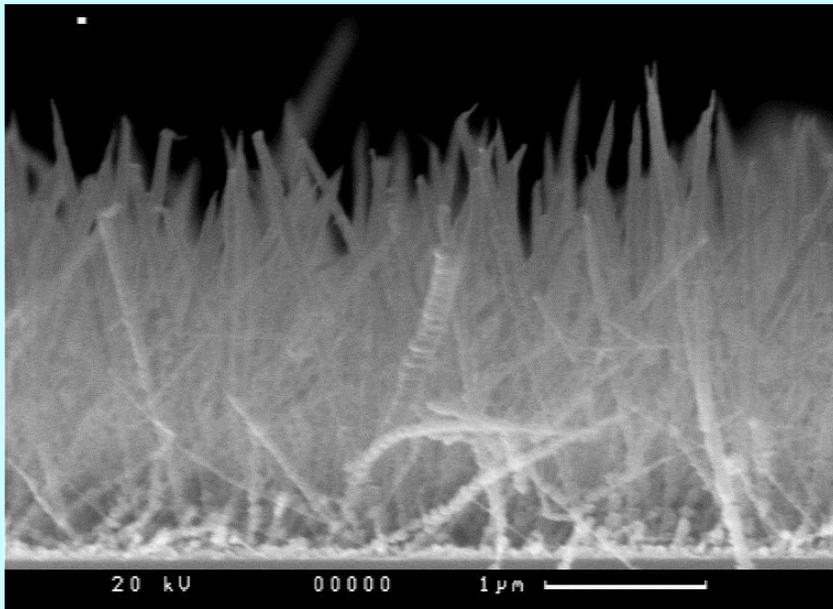


Plasma Etching

- This step creates the trenches, and vias (holes) that need to be filled.
- Etches need to be selective --- acting on one kind of material and not another
- Etching also needs to be anisotropic. That is why a plasma (Plasma Etching) is needed.

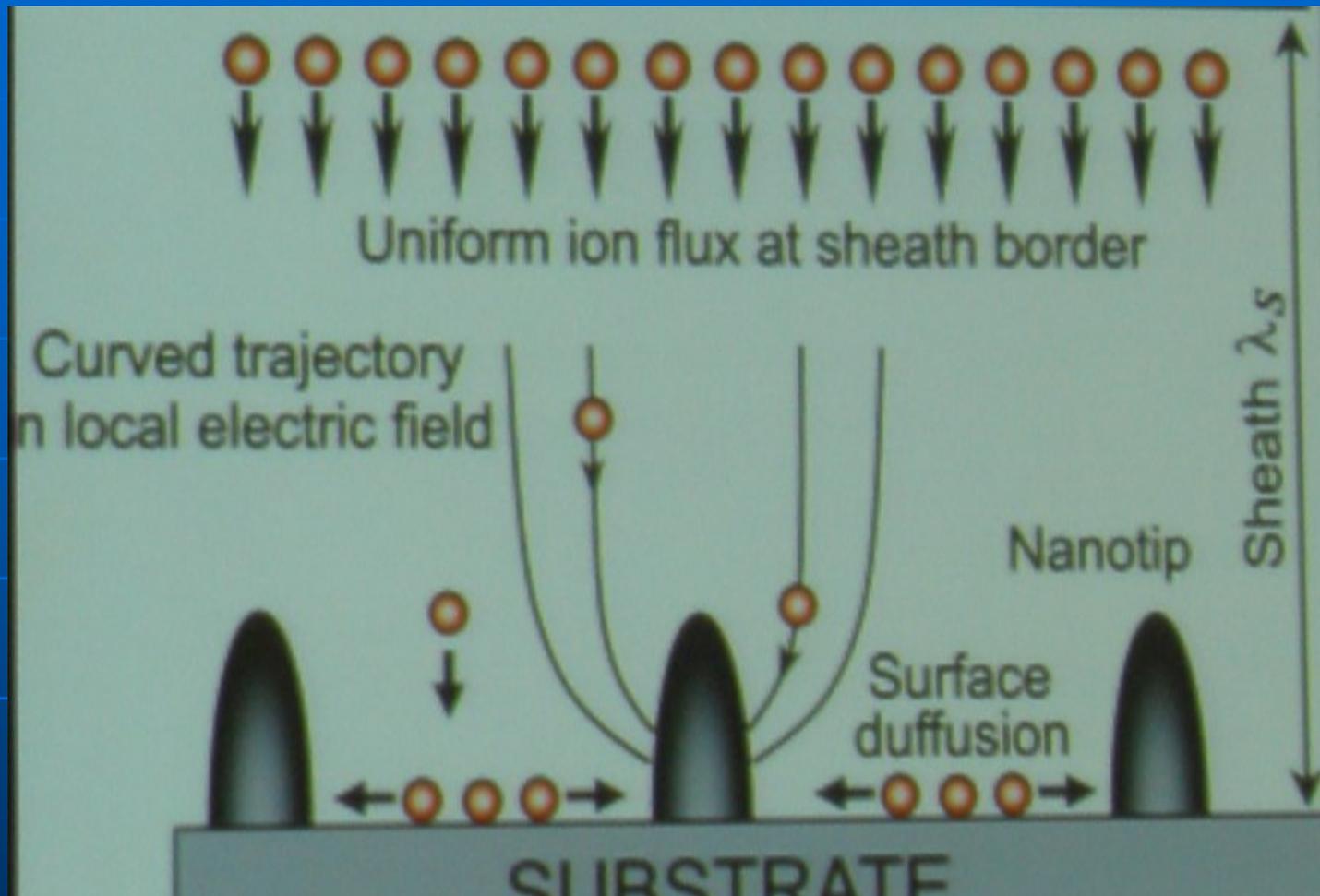


Под действием плазмы на поверхности растет нанотрава!



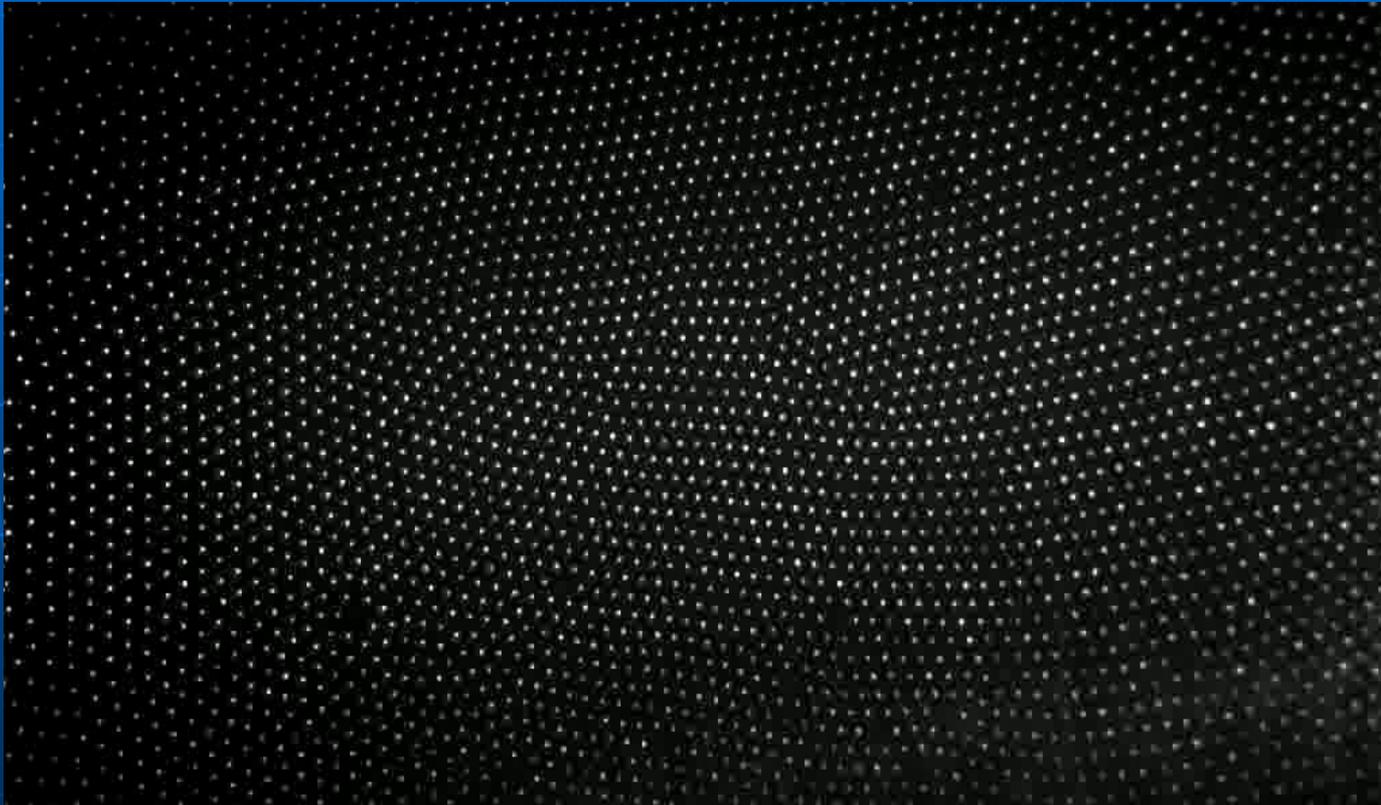
Growth parameters: $T=580^{\circ}\text{C}$, $d_{\text{Au}}=1\text{ nm}$, $V=0,4\text{ ML/s}$, $d_{\text{GaAs}}=190\text{ nm}$

Плазменные нанотехнологии



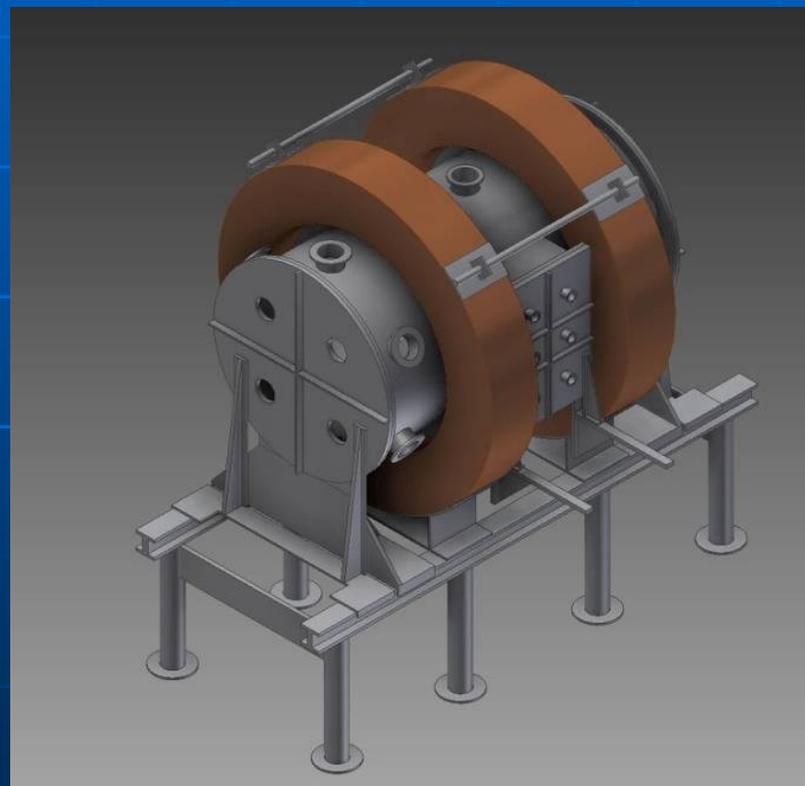
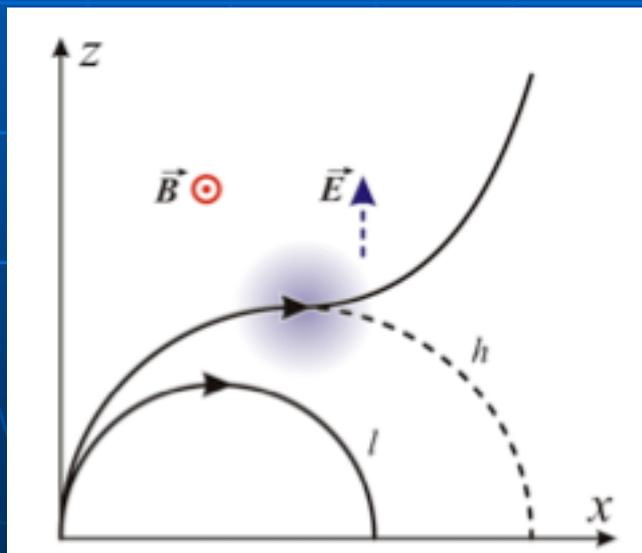
В отличие от поэтапной сборки плазма позволяет значительно ускорить процесс самосборки наноструктур

Но плазма может образовывать кристалл! Новое состояние вещества!



В 2008 г студент кафедры Игорь Быков, меняя частоту ВЧ разряда, смог переводить пылевую плазму из жидкого в кристаллическое состояние

Плазменная сепарация РАО (совместно с ОИВТ РАН)



Плазменный ускоритель

Замечательная способность плазмы
дебаевское экранирование

позволяет создавать поля

100 ГВ/м и более

что в **1000 раз** выше, чем в
вакууме

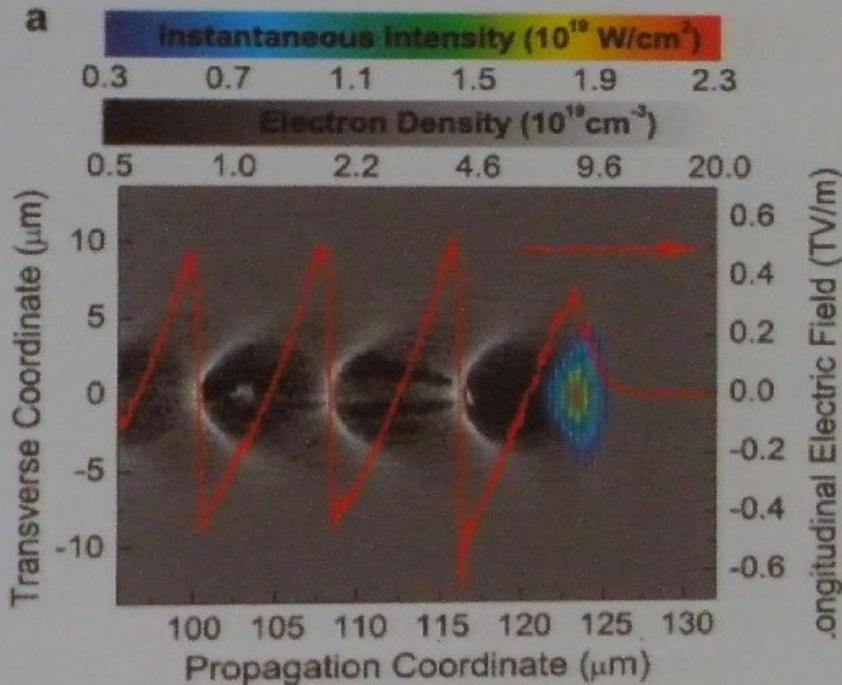
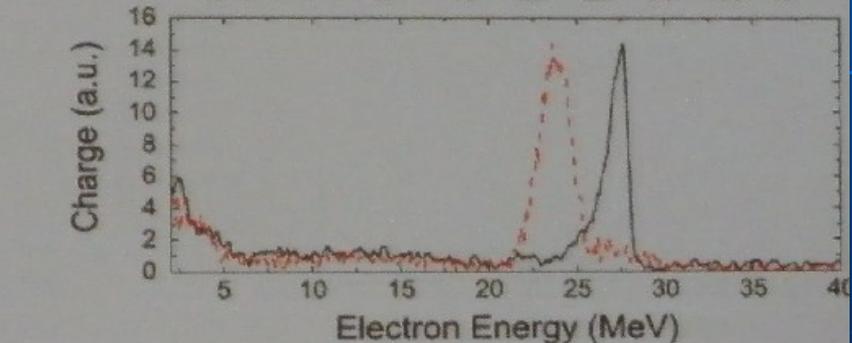
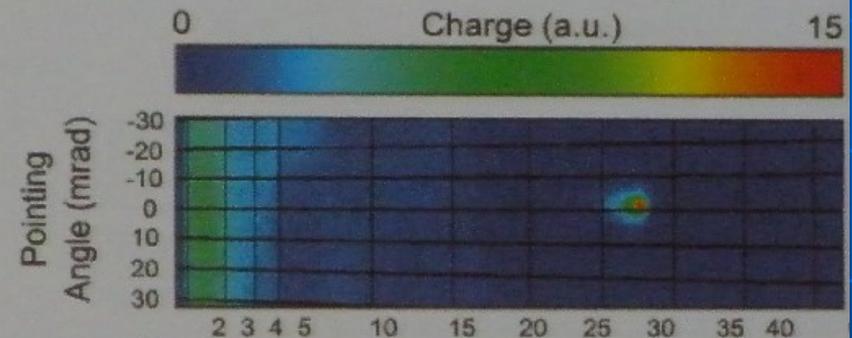
Recent development: $\Delta L_{\text{Laser}} \sim \lambda_{\text{plasma}}/2$

Produces more monoenergetic electrons, less thermal background
Strongly reduced secondary radiation

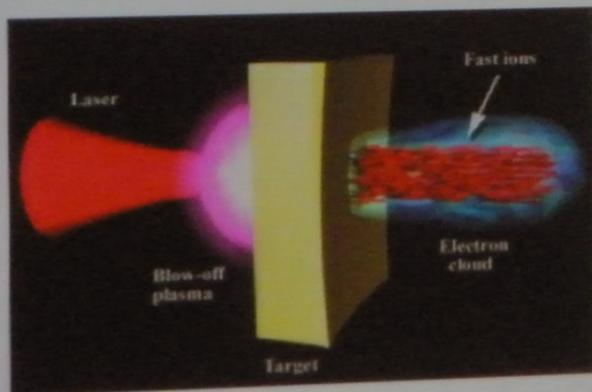
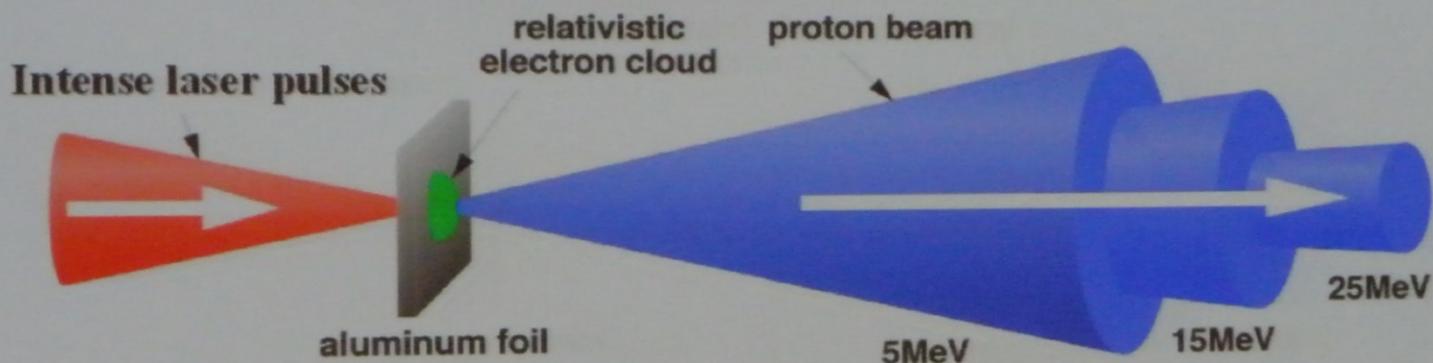


Bubble

Laser pulse



Протонный пучок из лазерной плазмы



P K Patel et al

Highly collimated (1-20°)
High flux (few % laser energy)
Energetic (upto 25MeV)
Temporally short (few ps)

Итак:

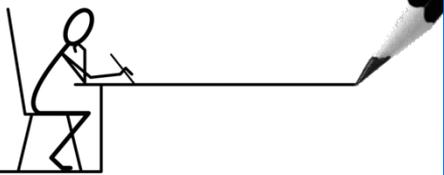
- плазма, как и вся Природа, раскрывая свои тайны и позволяя себя все больше использовать на благо цивилизации, показывает себя все с новых сторон ставит новые вопросы и загадки обеспечивая неиссякаемое поле деятельности для пытливых и настойчивых исследователей!

ЧАСТЬ 2 –самая интересная

Кафедра 21

и как на ней

«зажигают звезды»



Кафедра готовит специалистов для работы в области:

- горячей плазмы и управляемого ядерного синтеза с магнитным удержанием;
- инерциального термоядерного синтеза;
- газоразрядной плазмы и ее применения в лазерах и экологии и медицине;
- взаимодействия ионов и плазмы с веществом;
- астрофизической плазмы;
- разработки новейших ионно-плазменных технологий;
- исследования плазменных эффектов в атмосфере и конденсированных средах;
- компьютерного моделирования явлений в плазме и при ее взаимодействии с веществом;

эксперимент – разработки -теория –моделирование

ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ:

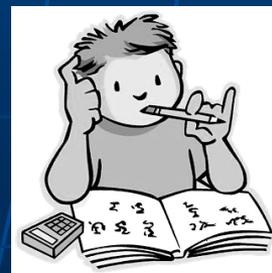
📖 развитие творческих способностей студентов,

📖 индивидуальный подход;

📖 возможность участия в научной работе начиная с младших курсов;

📖 обязательное обучение современным компьютерным и информационным технологиям;

📖 дополнительная языковая подготовка



Выпускники кафедры работают или продолжают образование в ведущих научных центрах России (НИЦ«Курчатовский институт», ТРИНИТИ, ФИАН, ИОФАН, ИТЭФ и др.) и за рубежом (Германия, США, Япония, Франция, Канада,), активно участвуют в реализации международного проекта ИТЭР. Среди выпускников кафедры руководители научных и технологических фирм.



Наши профессора



После заседания кафедры : А.А.Писарев, Ю.С.Акишев, Л.Б.Беграмбеков, В.Г.Наумов, В.И.Ильгисонис, С.В.Мирнов, В.Е.Черковец, В.А.Курнаев, (примкнувший доцент Д.Л.Кирко) В.С.Стрелков, Б.А.Трубников, А.С.Савелов, В.А.Иванов

А в командировке
были:

Всего 15
профессоров и 15
доцентов (в основном
молодых!)



Академик В.П.Смирнов



В.М.Жданов



Б.В.Кутеев

Наши иностранные преподаватели

Проф. Гидо Ван Оост

(Универ. Гента, Бельгия)

Проф. Кай Норлунд

(Универ. Хельсинки)

Проф. Тетсуо Танабе

(Универ. Кюсю, Япония)

Проф. Михио Ямаваки

(Проф. универ. Токио)

Проф. Эрлан Батырбеков

(Дир. НЯЦ Казахстан)

Проф. Ирина Тажибаева

(НЯЦ Казахстан)

Проф. Ян Штокель

(Ин-т физ. плазмы, Прага)

Проф. Дмитри Батани

(Лаб. LULI, Франция)

Проф. Франк Росми

(Универ. , Франция)

Проф. Кристианн Гризолия

(CEA, Франция)

Проф. Жан Марк Лайе

(Универ. Марселя, Франция)

Проф. Йохан Штрюмфель

(RUBIC, Германия)

Проф. Серджан Петрович

(Универ. Белграда, Сербия)

Доц. Флюра Джурамбекова

(Универ. Хельсинки)



Наши зарубежные коллеги на II летней школе по взаимодействию плазмы с поверхностью, Июль 2016: Ван Оост, Давид Рузик, Ричард Питтс (ИТЭР), Кай Нордунд, Флюра Джурамбекова, Кристианн Гризолия, Тетсуо Танабе, Аркадий Крестер (FZJ, Германия) и примкнувший к ним Курнаев,

(Ричард Питтс и Аркадий Крестер – первые адъюнкт профессора МИФИ)

А как студенты?

Прилежно учатся...



работают на свежем воздухе



радуются удачному эксперименту..



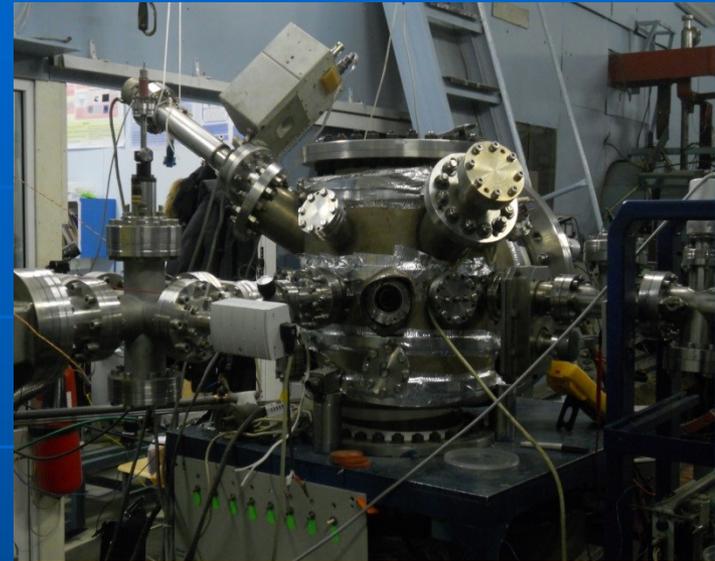
и вообще — полны оптимизма



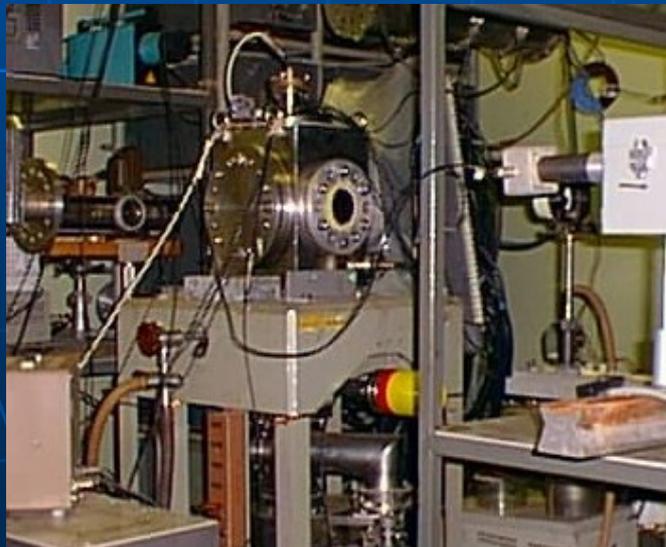
Наши крупные плазменные установки



ПРОБКОТРОН ПР-2



КРОКОДИЛ



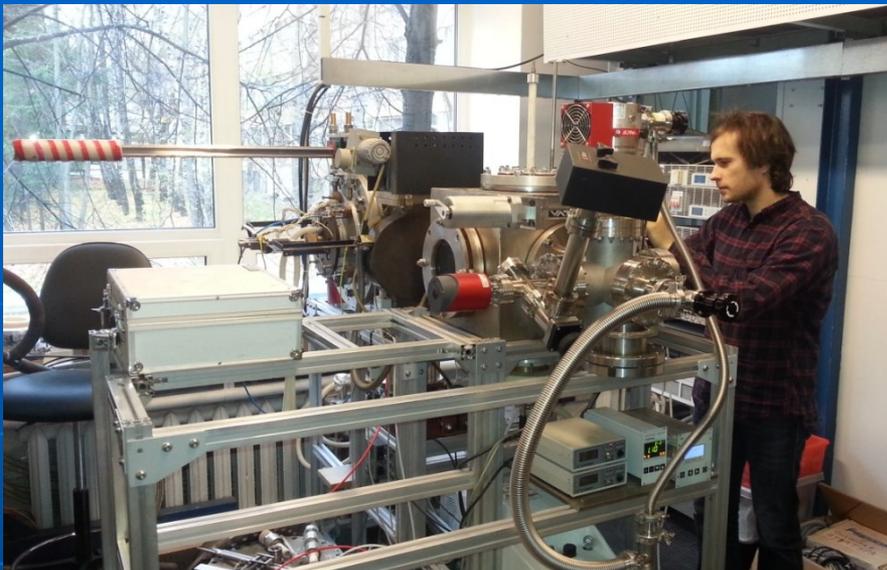
**Плазменный
фокус**



ЗОНА -2

воспетая в фильме по овецку Долли

Только что построенные установки,!



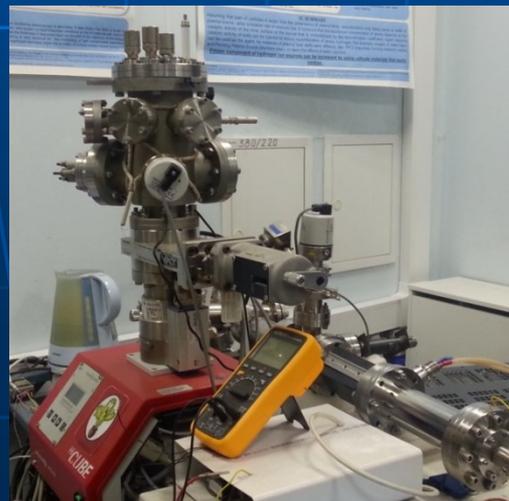
ПИНЧ из 2-х разрядных камер

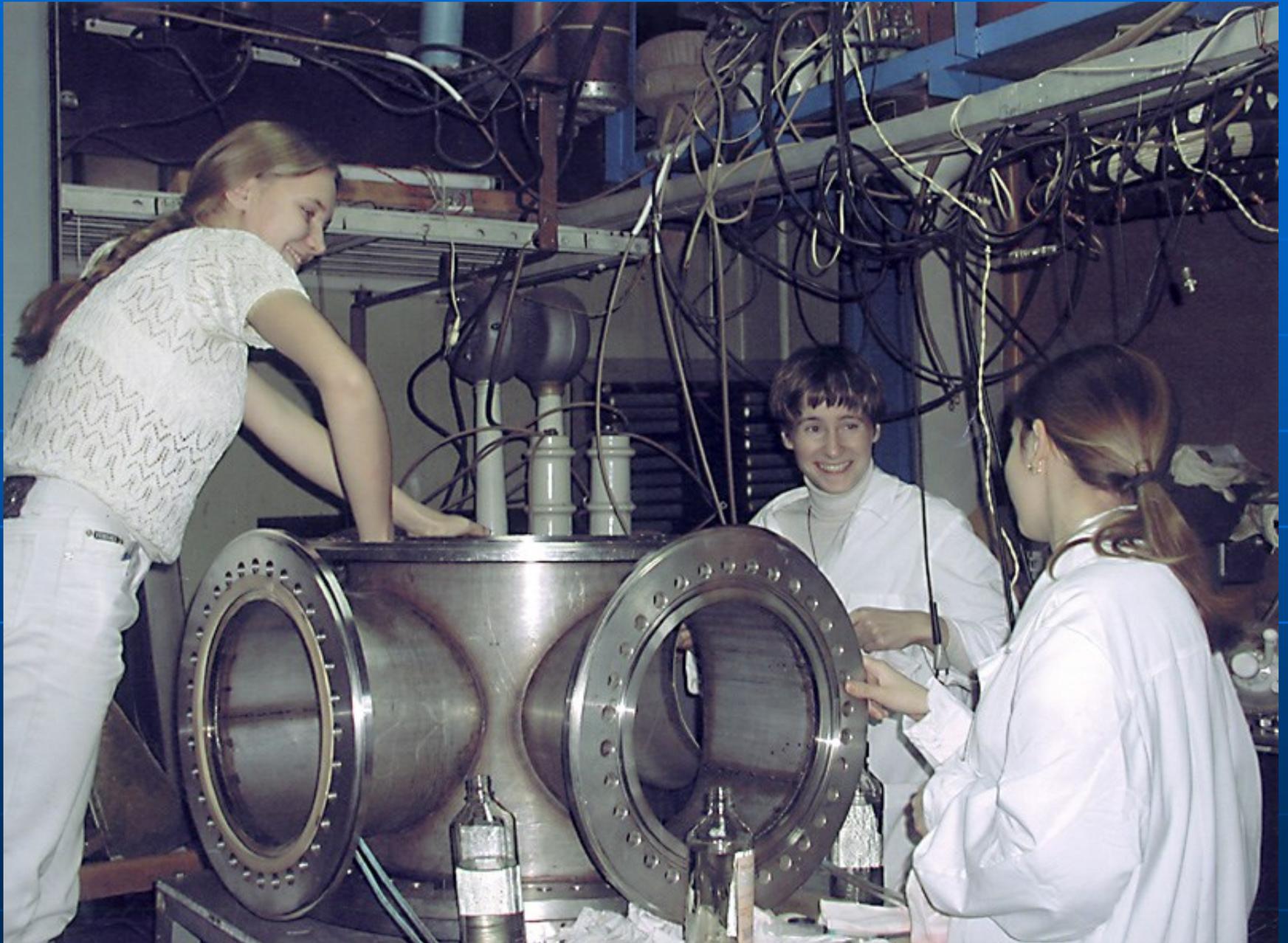


Уникальный стенд для
плазменного напыления
и испытания покрытий

«Кактус»

И еще много чего....







Основные организации, с которыми мы сотрудничаем по науке и подготовке кадров



MO ITER organization



University of California San Diego (UCSD), University of Illinois (UIUC) USA,

IPP Garching,,



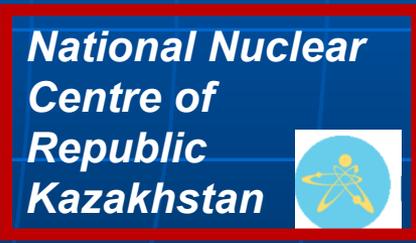
FZ Juelich

KTH Stockholm, Sweden



Universities of Tokyo, Nagoya, Kyushu, and Toyama –Japan

Institute of Magnetic Fusion Research CEA, -France

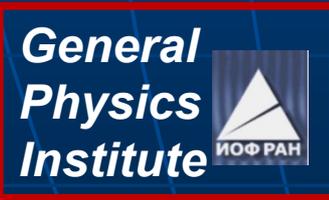


National Nuclear Centre of Republic Kazakhstan –, Kazakhstan

NIIEFA



NRC Kurchatov institute



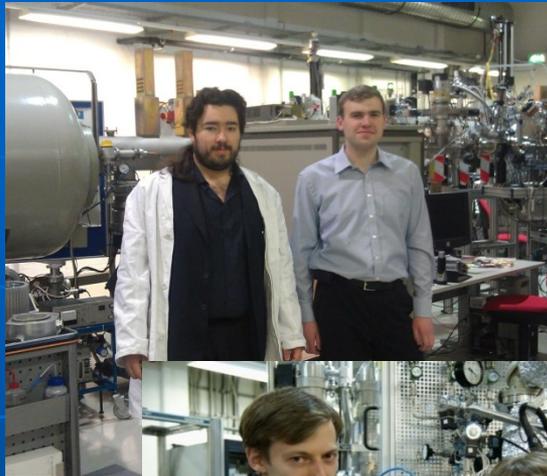


RF – IPP Collaboration in PSI issues



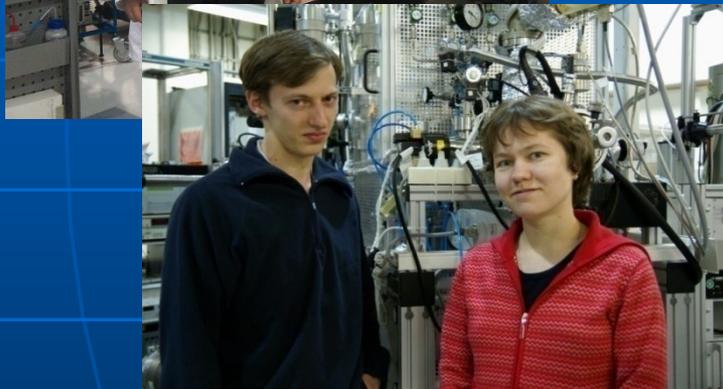
IPP

Max-Planck-Institut
für Plasmaphysik
EURATOM Assoziation



MEPhi has successful collaboration with IPP more than 10 years in the field of Plasma – Surface Interaction in fusion devices:

- Practice of Master and PhD students
- Sandwich PhD students



Students participating in this collaboration are leading young scientist in MEFi and Kurchatov Institute, TRINITI and continue strong cooperation with German colleagues and between each other!

Project leaders: Yuri Gasparyan, Anna Golubeva

2 Joint grants were supported by Helmholtz Association (Germany) and RFBR (Russia):

➤ HRJRG-022: “Hydrogen Isotopes Retention in First-Wall Materials for ITER” (IPP & MEFi & NRC KI, 2008-2011)

Papers: 20

Talks and poster presentations: 51

➤ HRJRG-216: “Hydrogen Behavior in Advanced and Radiation-damaged Materials for Fusion Applications” (IPP & MEFi & NRC KI & TRINITI, 2011 -2014)

Дальнейшее – дело рук выпускников!



Дальнейшее – дело рук выпускников!



Степан Крат

лицей 1511 2006 г
2014 гг –МИФИ с отличием
15 работ в Scopus
Стажировки в Германии,
к.ф.м.н. 2017 н.с



Иван Сорокин:

лицей 1511 2007 г
2013 гг –МИФИ с отличием, **17** работ в
Scopus, Стажировки в Брукхевене
(США) и Германии,
к.ф.м.н. 2017 н.с



Маша Алхимова

Школа в Иркутске 2008 г
2015 г –МИФИ с отличием
5 работ в Scopus.
Аспирант 3-го года
Стажировки в Японии,
конференции в 5 странах
Провела ICLIMS в 2016
Защита **к.ф.м.н. май 2018**



И еще 4 защиты
наших
аспирантов в
2018..

Выпускники успешны в науке, ~ 40% из них защищают кандидатские диссертации и PhD



26 октября 2016 Арсений Евсин (и его руководитель проф. Л. Б. Беграмбеков)



Две Иры - Бородкина и Григорьева защитили свои диссертации в один день 23 ноября 2016 + 21 декабря 2017 защитил диссертацию Алексей Баловнев, а в июне 2017 Степан Крат и Иван Сорокин

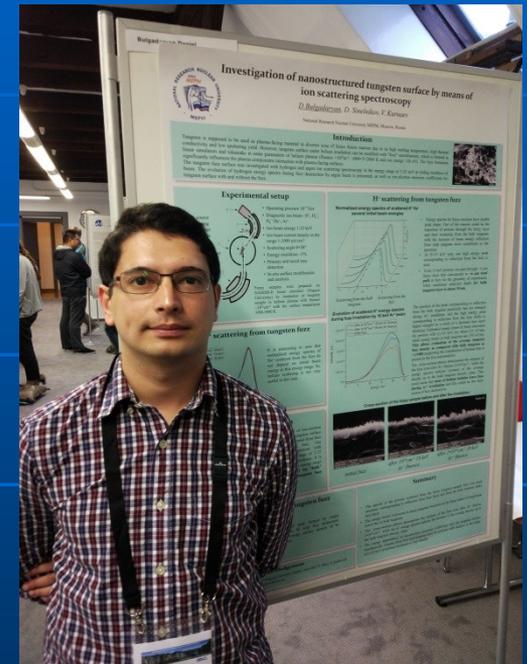


В декабре 2016 3 молодых ученых кафедры (из 6 в МИФИ) выиграли грант Президента РФ на проведение инициативных исследований

Последние новости:



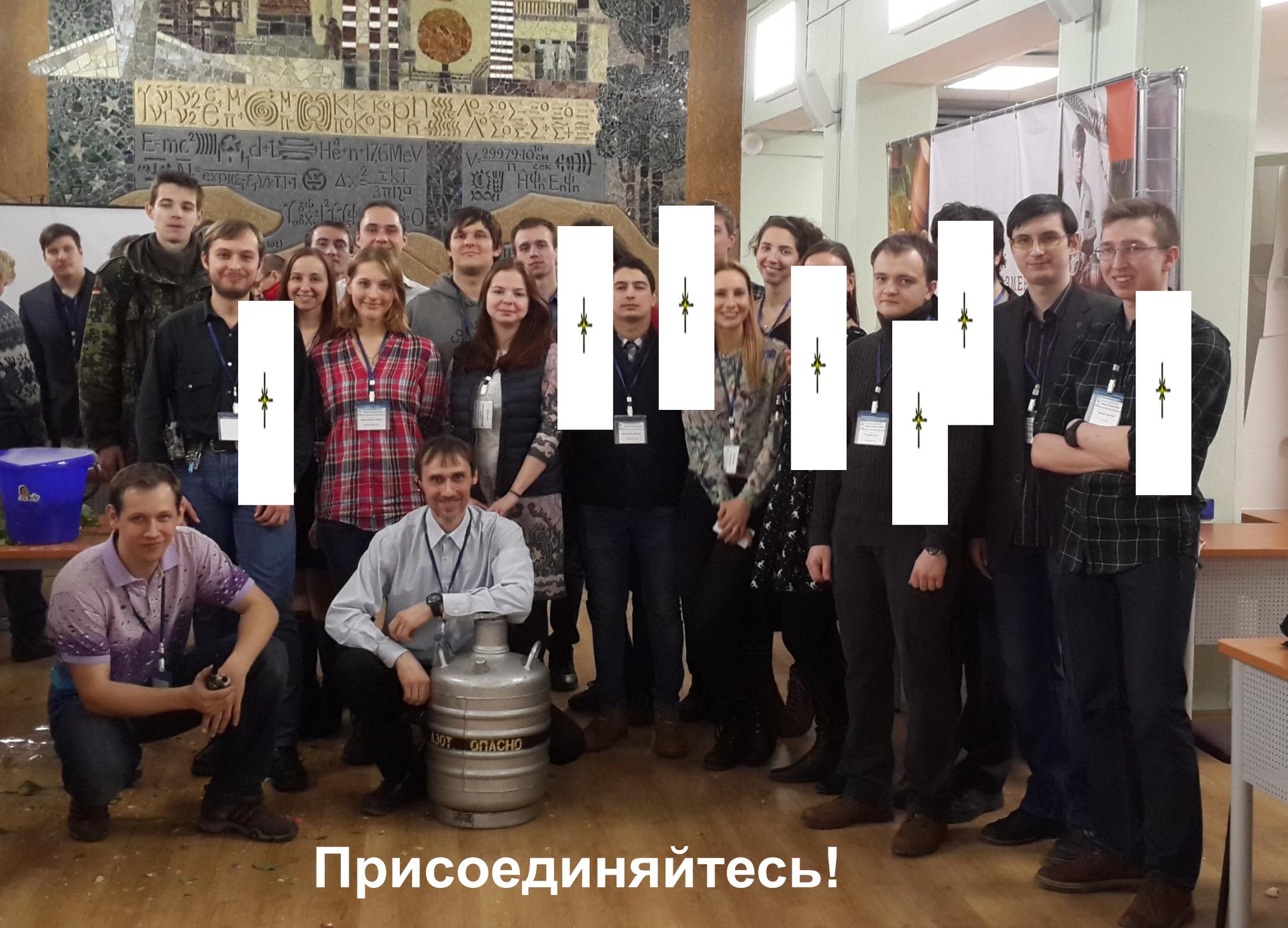
Лекция профессора Гидо Ван Ооста на кафедре
12.10.2017



Аспирант кафедры Данил Булгадарян на конференции в Дрездене (Германия, конец сентября 2017)



День открытых дверей 2016



Присоединяйтесь!

Итак:

- Мы живем на звездном «кладбище», но в атмосфере звезды по имени Солнце, дающей нам жизнь.
- Мы прошли длинный путь, чтобы зажечь термоядерные «звезды» на Земле. Реакции с $Q \sim 1$ осуществлены в токамаках. Реактор ИТЭР (500МВт) запуск 2025г.
- На этом пути мы научились «зажигать» и свои небольшие «звездочки».
- Ждем новых будущих изобретателей и исследователей!