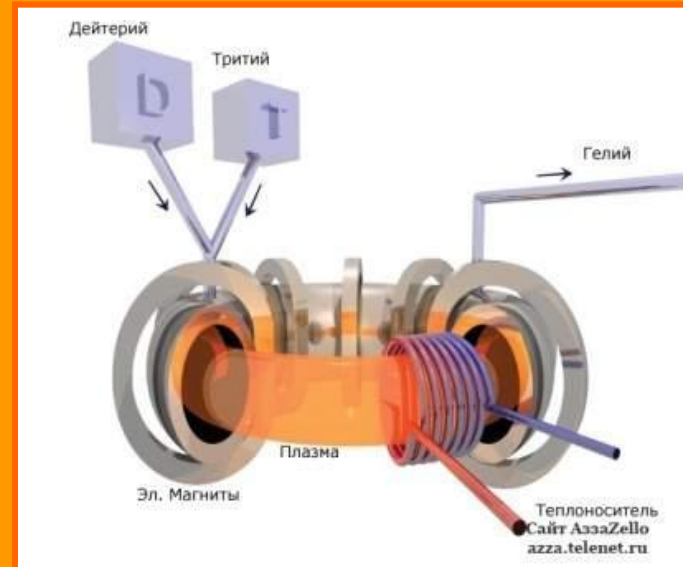
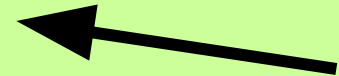
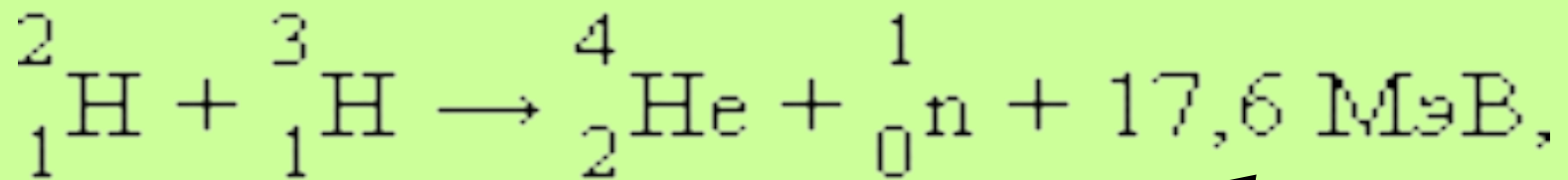




# Термоядерная реакция



**Термоядерная реакция** - реакция слияния легких ядер при очень высокой температуре, сопровождающаяся выделением энергии



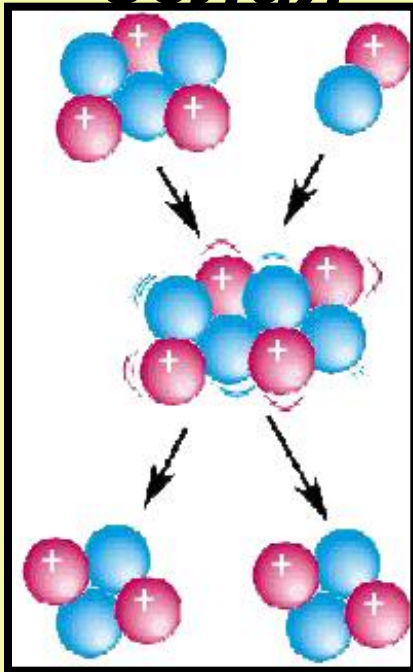
**Энергетически очень  
выгодна!!!**

# Сравнение термоядерной энергии и выделяющейся при реакции горения

**Синтез**

**4 г**

**гелия**



**=**

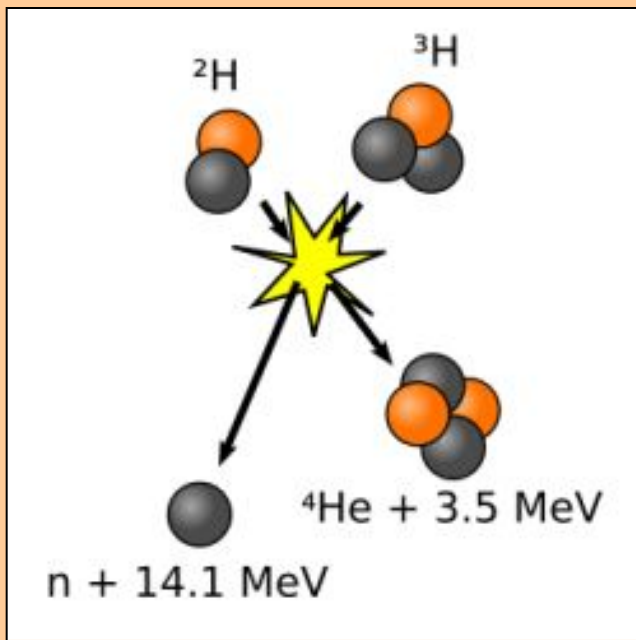
**Сгорание**

**2 вагонов каменного**

**угля**

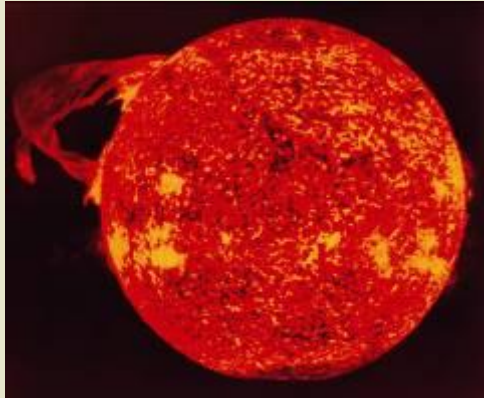


# Условия протекания термоядерной реакции



Для того, чтобы произошла реакция синтеза, исходные ядра должны попасть в сферу действия ядерных сил (сблизиться на расстоянии  $10^{-14}$  м), преодолев силу электростатического отталкивания. Это возможно при большой кинетической энергии ядер. Для этого вещество должно иметь температуру  $10^7$  К. Поэтому реакция названа «термоядерной» (от лат. *therme-тепло*).

# Неуправляемые термоядерные реакции



1. На Солнце уже миллиарды лет происходит неуправляемый термоядерный синтез. По одной из гипотез в недрах Солнца происходит слияние 4 ядер водорода в ядро гелия. При этом выделяется колоссальное количество энергии



2. Водородная бомба.

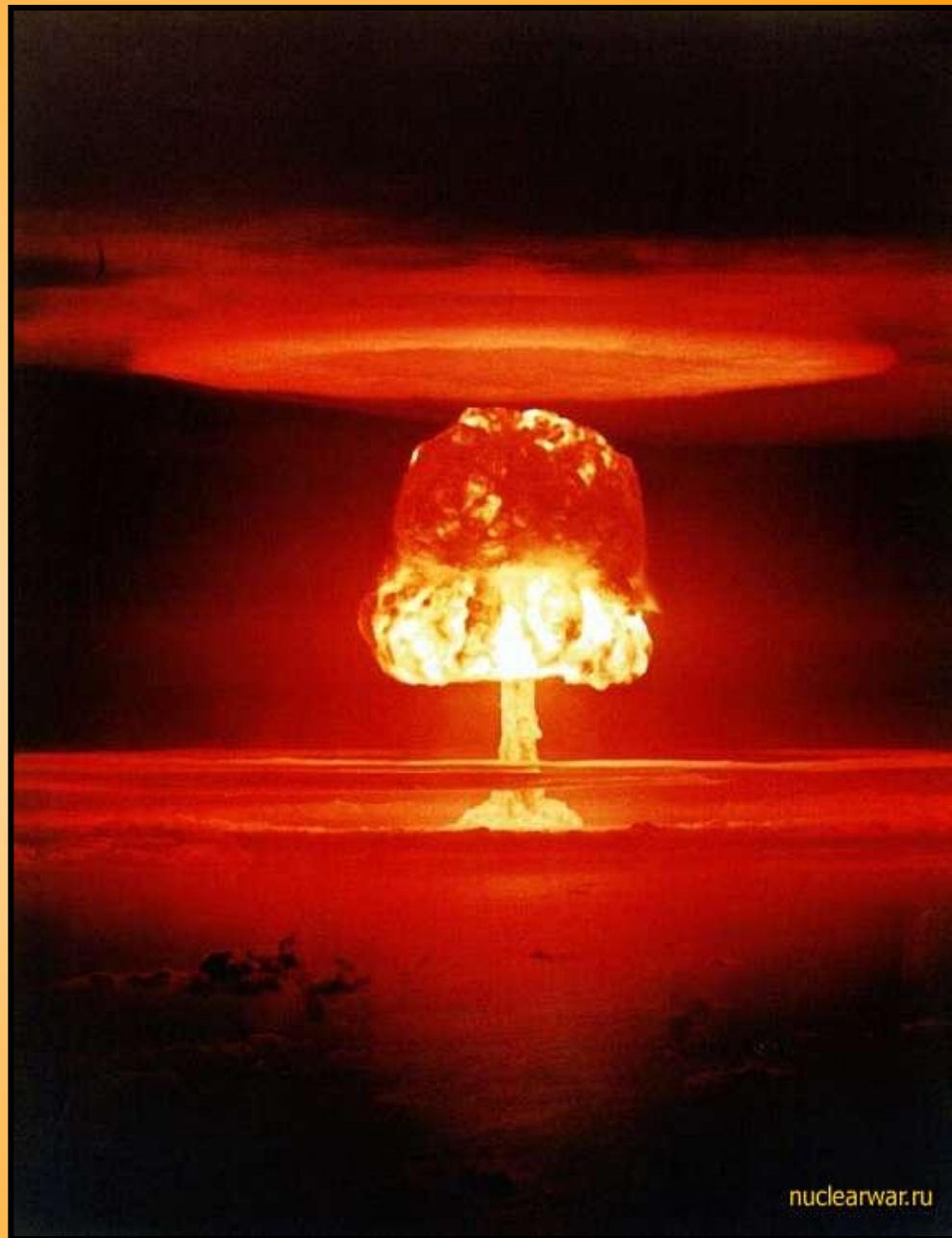
Фотография взрыва первой французской термоядерной бомбы Канопус, которая была испытана 24 августа 1968 года во Французской Полинезии.

Самой мощной из испытанных бомб была водородная бомба мощностью 57 мегатонн (57 миллионов тонн тротилового эквивалента), создана в СССР.

Среди разработчиков были Сахаров, Харитонов и Адамский. Утром 30 октября 1961 года в 11:32 бомба, сброшенная с высоты 10 км, достигла высоты 4000 метров над Новой Землей (СССР) и была приведена в действие.

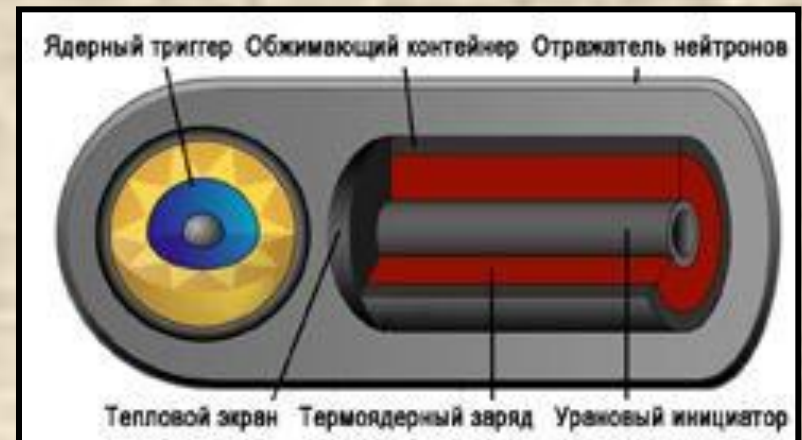
Место взрыва напоминало ад – землю устилал толстый слой пепла от сгоревших скал. В радиусе 50 километров от эпицентра все горело, хотя перед взрывом здесь лежал снег высотой в человеческий рост, в 400 километрах в заброшенном поселке были разрушены деревянные дома..

Мощность взрыва в 10 раз превысила суммарную мощность всех взрывчатых веществ, использованных во второй мировой войне.



# Механизм действия водородной бомбы.

Последовательность процессов, происходящих при взрыве водородной бомбы, можно представить следующим образом. Сначала взрывается находящийся внутри оболочки заряд-инициатор термоядерной реакции (небольшая атомная бомба), в результате чего возникает нейтронная вспышка и создается высокая температура, необходимая для инициации термоядерного синтеза. Нейтроны бомбардируют вкладыш из соединения дейтерия с литием-6. Литий-6 под действием нейтронов расщепляется на гелий и тритий. Затем начинается термоядерная реакция в смеси дейтерия с тритием, температура внутри бомбы стремительно нарастает, вовлекая в синтез все большее и большее количество водорода.



# Водородная бомба для стратегической авиации

*Самая первая водородная бомба, освоенная серийным производством и принятая на вооружение стратегической авиации. Окончание разработки — 1962 г.*



**Музей РФЯЦ-ВНИИТФ г.Снежинск.**



# **Преимущества управляемой термоядерной реакции**

Идея создания термоядерного реактора зародилась в 1950-х годах. В настоящее время (2010) управляемый термоядерный синтез ещё не осуществлён.

Термоядерная энергетика, в которой используется абсолютно нерадиоактивный дейтерий и радиоактивный тритий, но в объемах в тысячи раз меньших, чем в атомной энергетике, будет более экологически чистой.

А в возможных аварийных ситуациях радиоактивный фон вблизи термоядерной электростанции не превысит природных показателей.

При этом на единицу веса термоядерного топлива получается примерно в 10 млн. раз больше энергии, чем при сгорании органического топлива, и примерно в 100 раз больше, чем при расщеплении ядер урана.

Источник этот практически неисчерпаем, он основан на столкновении ядер водорода, а водород - самое распространенное вещество во Вселенной.

Этой проблемой занимались в СССР И.В. Курчатов, А.Д. Сахаров, И.Е. Тамм, Л.А. Арцимович, Е. П. Велихов

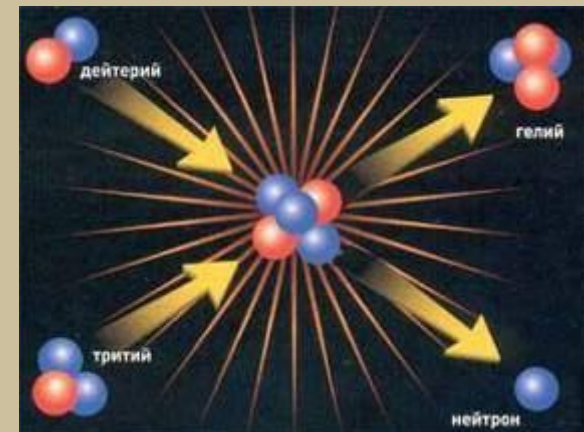
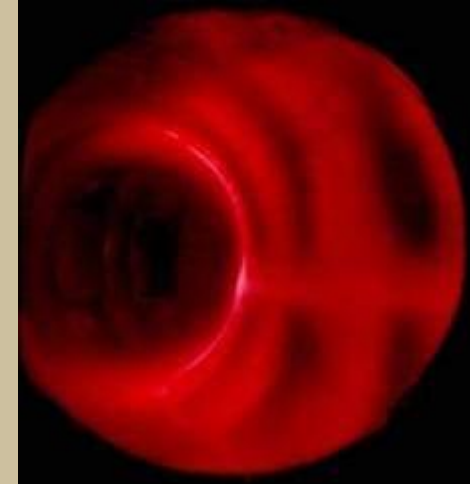


# Основные направления исследований УТС

Основная проблема – удержать газ при температуре  $10^7$  К (плазму) в замкнутом пространстве.

На данный момент достаточно интенсивно финансируются две принципиальные схемы осуществления управляемого термоядерного синтеза.

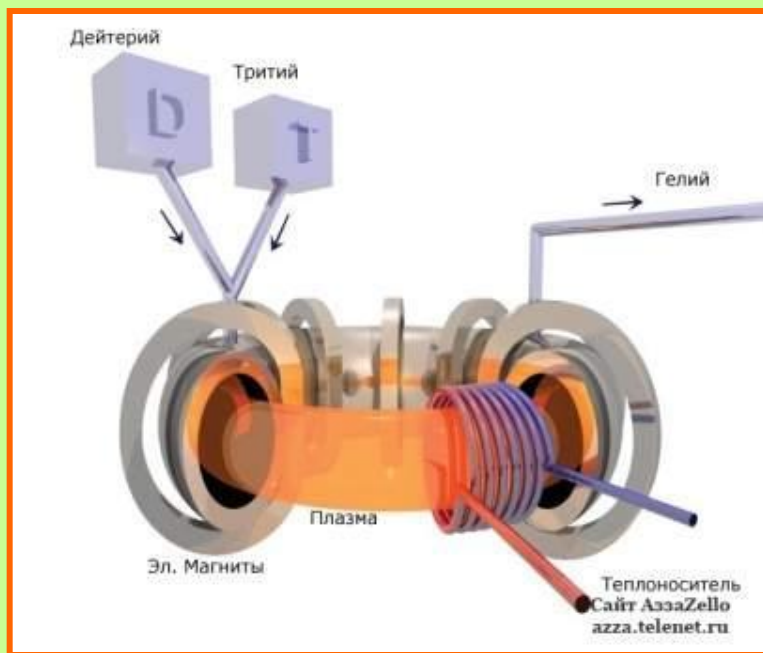
- **1. Квазистационарные системы,** в которых удержание плазмы осуществляется магнитным полем при относительно низком давлении и высокой температуре.
- **2. Импульсные системы** . В таких системах УТС осуществляется путем кратковременного нагрева небольших мишеней, содержащих дейтерий и тритий, сверхмощными лазерными или ионными импульсами. Такое облучение вызывает последовательность термоядерных микровзрывов.



# Квазистационарные системы

**ТОКАМАК**— тороидальная вакуумная камера для магнитного удержания плазмы. Плазма удерживается магнитным полем, внутри которого плазменный «шнур» висит, не касаясь стенок камеры – «бублика». Впервые разработан в Институте атомной энергии им. Курчатова для исследования проблемы управляемого термоядерного синтеза. На камеру намотаны катушки для создания магнитного поля. Из вакуумной камеры сначала откачивают воздух, а затем заполняют её смесью дейтерия и трития. Затем, с помощью индуктора, в камере создают вихревое электрическое поле.

Индуктор представляет собой первичную обмотку большого трансформатора, в котором камера ТОКАМАКа является вторичной обмоткой. Вихревое электрическое поле вызывает протекание тока в плазме и её нагрев.



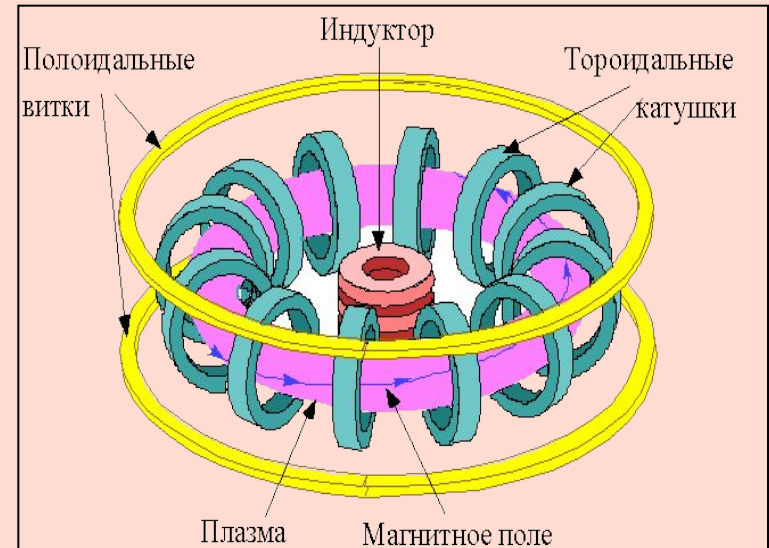
# Проблемы управляемого термоядерного синтеза в ТОКАМАКе

Пока удаётся получить плотность плазмы  $10^{14}$  частиц на  $\text{см}^3$  на время 1 с, что не позволяет пока запустить самоподдерживающуюся термоядерную реакцию. Производство плотности плазмы

на время удержания должны быть в 20 раз больше, чем достигнуто сейчас.

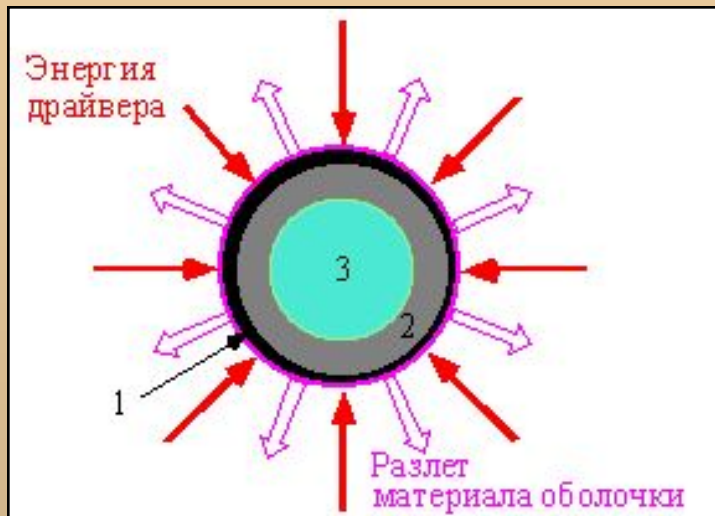
Для промышленного использования реакции термоядерного синтеза должны идти непрерывно в течение длительного времени. Чтобы добиться протекания реакции в требуемом масштабе, необходимо поднять давление в плазме.

Увеличение давления в плазме вызывает в ней процессы, отрицательно сказывающиеся на устойчивости этого состояния вещества. В ней возникают возмущения типа «шейки», «змейки», что ведёт к выбрасыванию плазмы на стенки камеры. Они разрушаются и плазма остывает. Магнитное поле должно препятствовать движению плазмы поперек силовых линий. Пока ТОКАМАК, магнитное поле которого создаётся при помощи сверхпроводящих электромагнитов, требует для удержания жгута плазмы больше энергии, чем выделяется вследствие слияния ядер.



# Импульсные системы

В таких системах УТС осуществляется путем кратковременного сжатия и сверхбыстрого нагрева небольших мишеней, содержащих дейтерий и тритий, сверхмощными многоканальными лазерами или ионными импульсами. Такое облучение вызывает в центре мишени термоядерную реакцию.



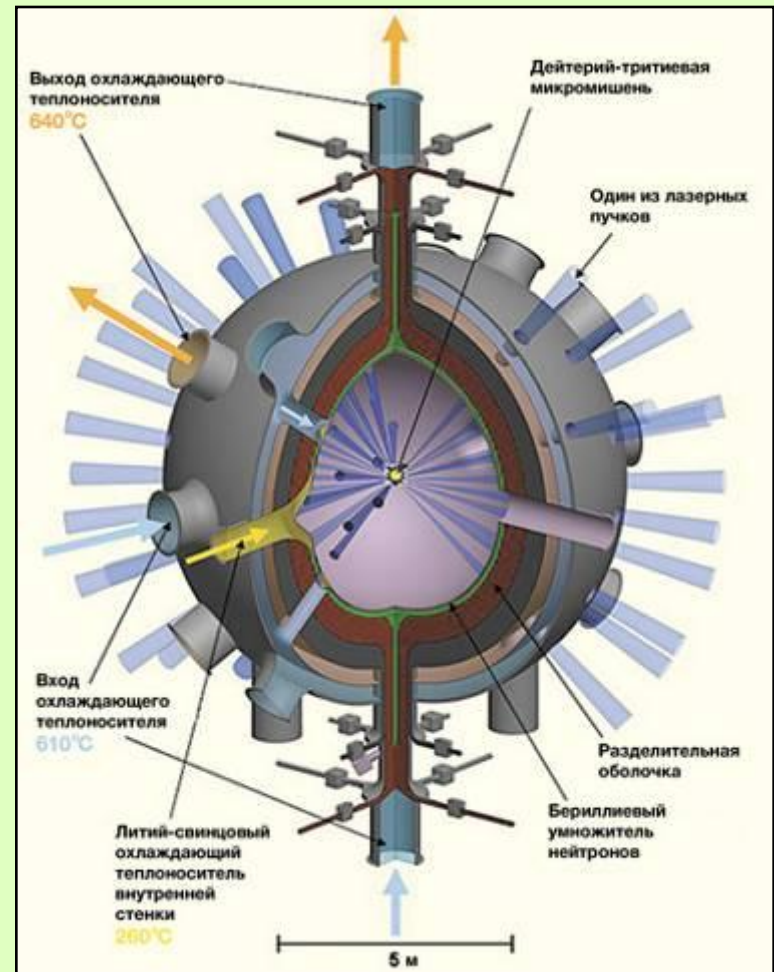
Мишень для УТС состоит из полый оболочки (1), слоя твердой замороженной ДТ смеси (2) и ДТ газа низкой плотности в центре мишени (3).

Главная идея - осуществление такого режима сжатия мишени, когда до температуры зажигания доводится лишь ее центральная часть, а основная масса топлива остается холодной. Затем волна горения распространяется к поверхностным слоям топлива.

# Ливерморская национальная лаборатория в Калифорнии - самый мощный в мире лазерный комплекс.

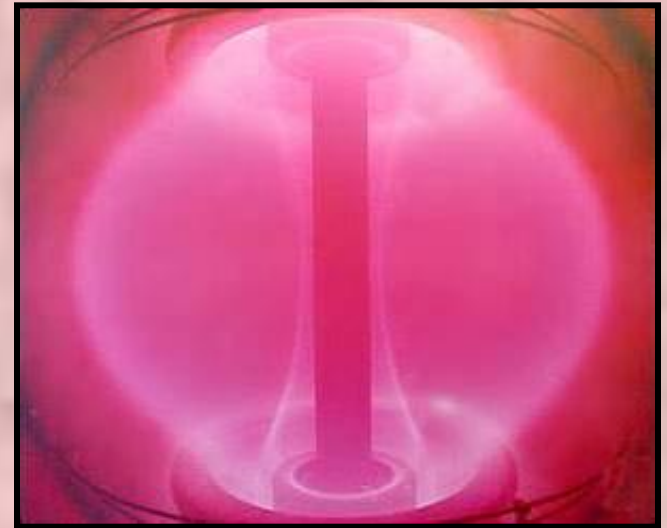
192 мощных лазера, которые будут одновременно направляться на миллиметровую сферическую мишень (около 150 микрограммов смеси дейтерия и трития). Температура мишени достигнет в результате 100 млн. градусов, при этом давление внутри шарика в 100 млрд. раз превысит давление земной атмосферы. То есть условия в центре мишени будут сравнимы с условиями внутри Солнца.

Импульсная термоядерная установка подобна двигателю внутреннего сгорания, в котором происходят взрывы горючего, периодически подаваемого в рабочую камеру. Трудности УТС заключаются в проблеме мгновенно и равномерно нагреть смесь. Расчеты показывают, что если достичь плотности в 1000 раз выше плотности твердого водорода, то одного миллиона джоулей будет достаточно для поджига термоядерной реакции. Но пока в экспериментальных установках плотность возрастает лишь в 30—40 раз. Основное препятствие— недостаточная равномерность освещения мишени.



# Термоядерный синтез-надежда современной энергетики

Термоядерный реактор будет потреблять очень небольшое количество лития и дейтерия. Например, реактор с электрической мощностью 1 ГВт будет сжигать около 100 кг дейтерия и 300 кг лития в год. Если предположить, что все термоядерные электростанции будут производить  $5 \cdot 10^{20}$  Дж в год, т.е. половину будущих потребностей электроэнергии, то общее годовое потребление дейтерия и лития составят всего 1500 и 4500 тонн. При таком потреблении содержащегося в воде дейтерия (0,015%) хватит на то, чтобы снабжать человечество энергией в течение многих миллионов лет.



# Международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР

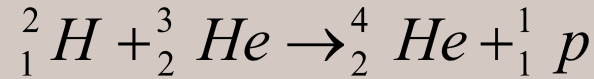
Проблема управляемого термоядерного синтеза настолько сложна, что самостоятельно с ней не справится ни одна страна. Поэтому мировое сообщество избрало самый оптимальный путь - создание проекта международного термоядерного экспериментального реактора - ИТЭР, в котором на сегодня участвуют, кроме России, США, Евросоюз, Япония, Китай и Южная Корея.

Термоядерный реактор будет построен в Кадараше (Франция) и введен в эксплуатацию примерно в 2016 году. Именно ТОКАМАК должен стать основой первого в мире экспериментального термоядерного реактора.





## *Топливо с Луны (гелий-3)*



Эта реакция требует более высоких температур, но является экологически чистой, поскольку выделяются не всепроникающие нейтроны, как в других ядерных реакциях, а заряженные протоны, которые несложно уловить без риска, что конструкционные материалы станут радиоактивными. Срок службы реактора значительно возрастает, конструкция упрощается, надежность возрастает. Так как протоны несут электрический заряд, возникает возможность прямого преобразования термоядерной энергии в электрическую, минуя потери на тепловое преобразование. На Земле гелия-3 всего 4 тысячи тонн. Для обеспечения России нужно приблизительно 20 тонн гелия-3 в год, для современной мировой экономики потребуется около 200 т гелия-3 в год. Его запасы в грунте Луны составляет около 1 млн. т. Добыча гелия-3 вполне по силам космическим ведомствам уже сейчас.



