

Управляемый термоядерный синтез (УТС).

Профессор Г.В. Долголева

Введение

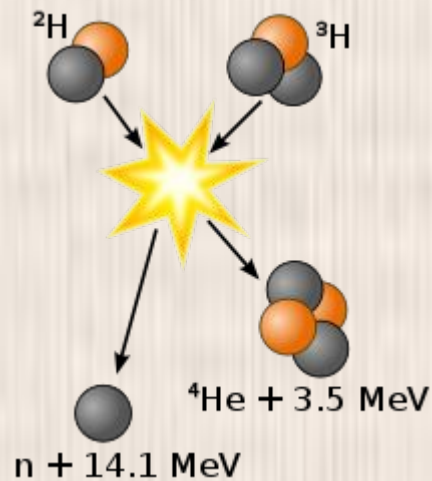
- Надвигающийся кризис энергетики, основанной на невозобновляемых ресурсах, обострил внимание общества к развитию альтернативных подходов и в частности, к управляемому термоядерному синтезу. По данным Мирового энергетического совета, разведанных запасов топлива на Земле осталось на 50-80 лет. Сегодня основными источниками энергии служат нефть, газ и уголь. По оценкам специалистов, запасы этих ископаемых на исходе. Почти не осталось разведанных, годных к освоению месторождений нефти и уже наши внуки могут столкнуться с очень серьезной проблемой нехватки энергии.
- Единственный долгосрочный источник энергии - управляемый термоядерный синтез (УТС) - это ядерная энергия, которая выделяется в процессе деления или синтеза.

Атомные электростанции

- Атомные электростанции, работающие на принципе деления, могли бы, конечно, еще не одну сотню лет снабжать человечество электроэнергией. Однако эксплуатация атомных электростанций, работающих за счет деления ядер урана, приводит к серьезным экологическим проблемам:
 - - огромное количество радиоактивных отходов - "долгожителей", остающихся после их работы,
 - -опасность последствий в случае аварии
 - ограничивают возможность всеобщего перехода на атомную энергетику. Надо сказать, что во Франции 80% используемой энергии вырабатывается на атомных электростанциях.

Термоядерный синтез

- термоядерный синтез в значительной степени свободен от недостатков, присущих процессу деления.



Термоядерный синтез

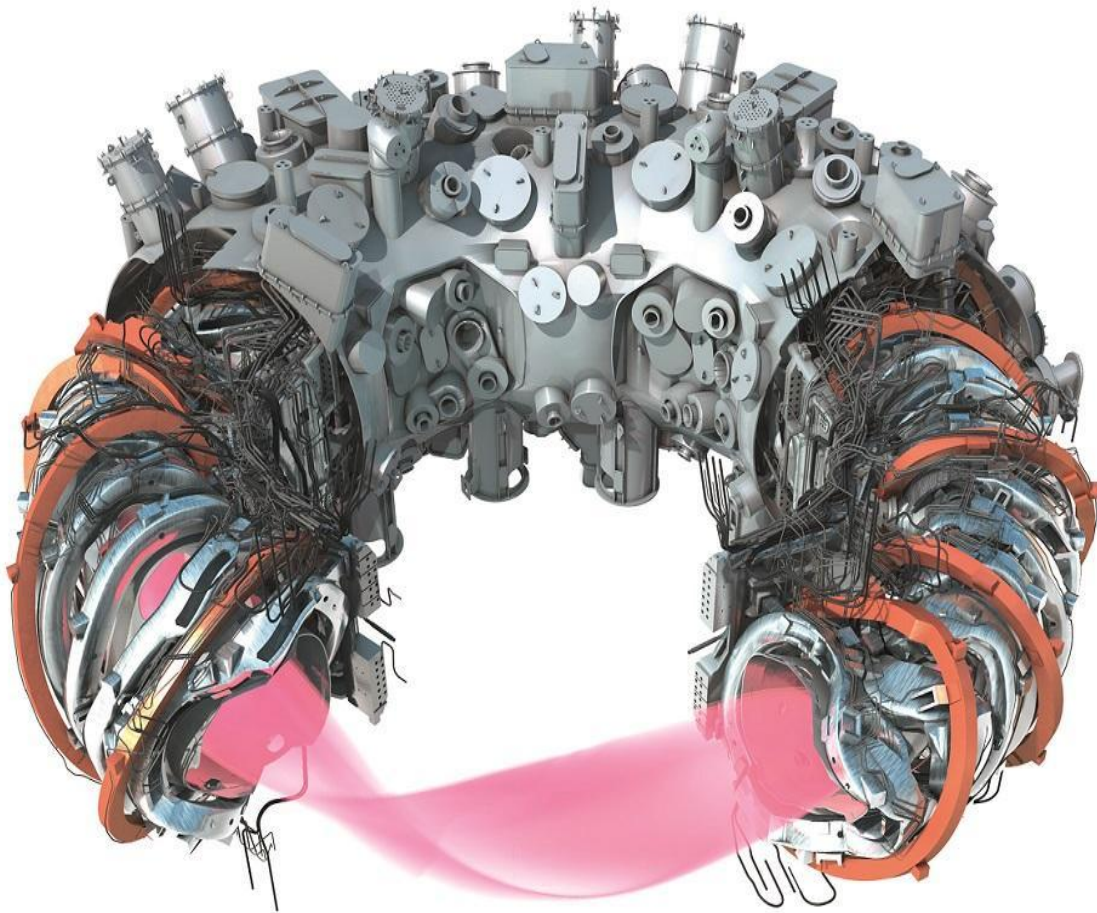
- В литре обычной воды содержится примерно 0,03 г дейтерия, но в процессе его реакции выделяется столько же энергии, сколько при сгорании 300 литров бензина! Если 1 стакан воды подвергнуть термоядерному синтезу, то можно снабжать электроэнергией небольшой город в течении 1 дня! Вот какой мощью обладает вода! (точнее водород). Запасов дейтерия на Земле хватит, чтобы обеспечивать человечество энергией около миллиарда лет. Немаловажно, что производство термоядерного топлива уже сегодня очень недорого: в нынешних условиях цена составила бы 1-2 копейки за киловатт, стоимость энергии за киловатт электроэнергии будет снижаться в дальнейшем.
- *Кто получит управляемую реакцию синтеза, тот практически полностью обеспечит себя энергией.*

Магнитное удержание плазмы.

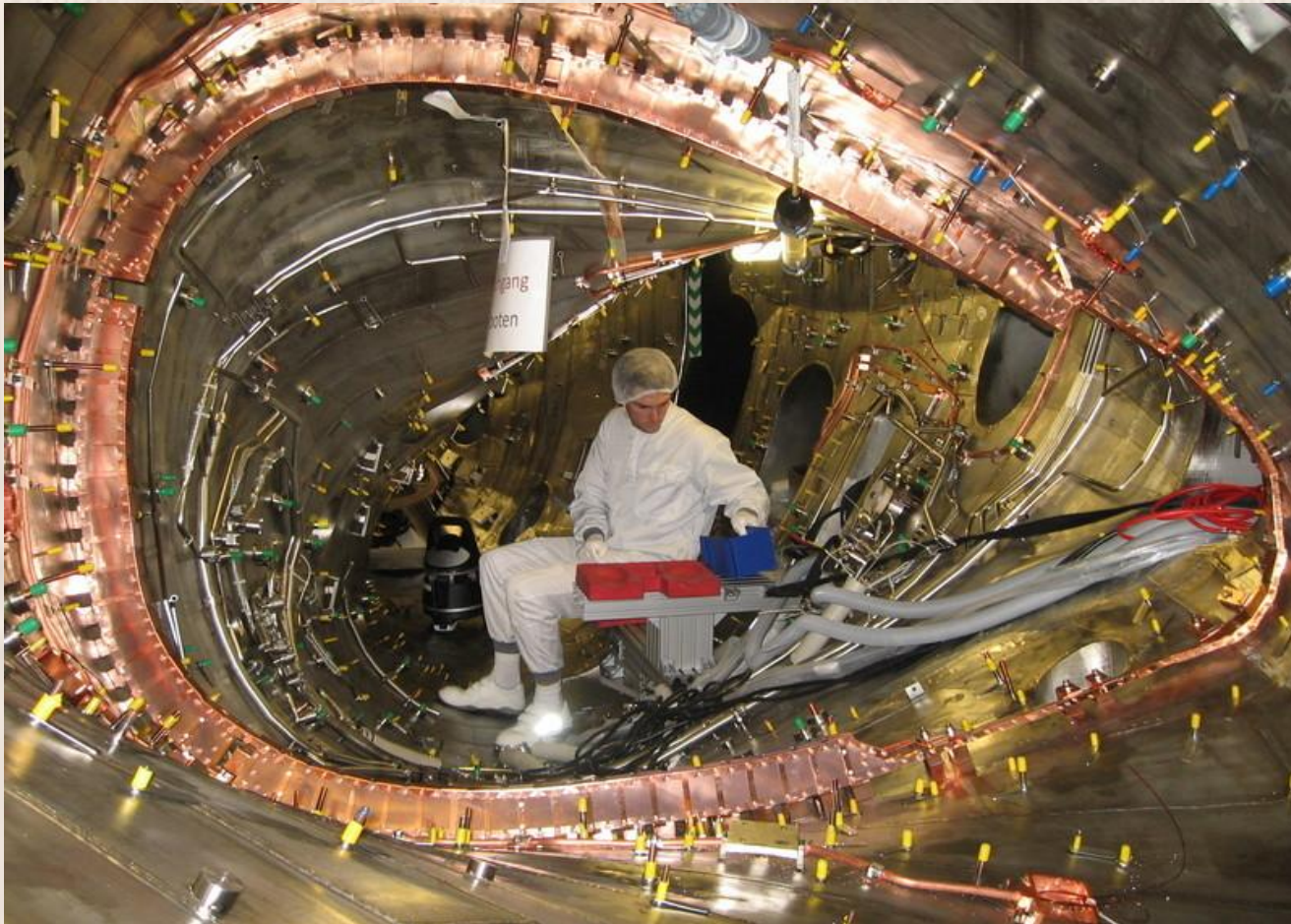
Стеллараторы

- Методы магнитного удержания имеют уже почти полувековую историю. Название «стелларатор» происходит от латинского *stella* — звезда, так как его задача состоит в проведении процесса, который также протекает в звездах – термоядерного синтеза. Установка представляет собой замкнутую магнитную ловушку, которая способна удерживать сильно разогретую плазму. Ловушка такой установки имеет форму тора, снаружи и внутри которого располагается вспомогательная аппаратура

Магнитное удержание плазмы. Стеллараторы



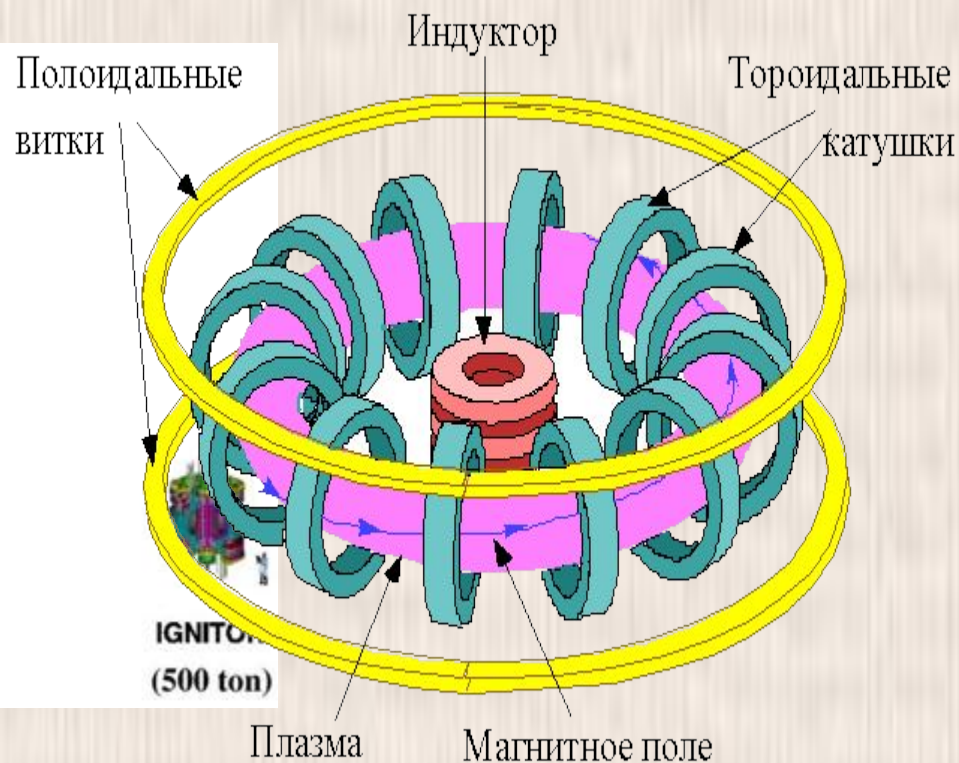
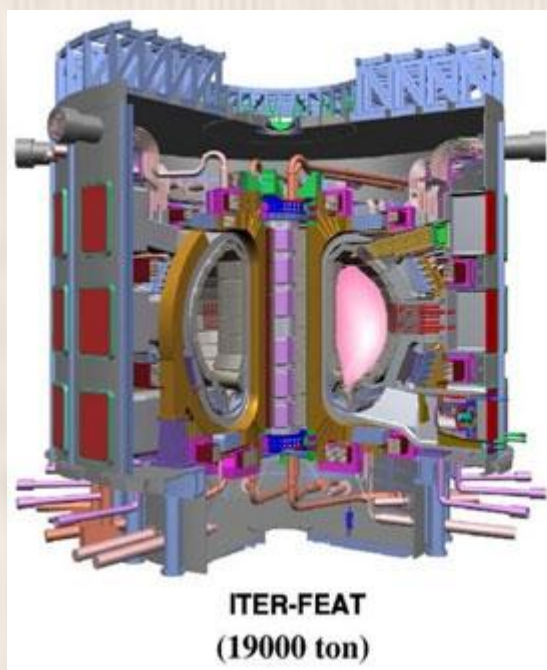
Магнитное удержание плазмы. Стеллараторы



Магнитное удержание плазмы.

- Путем многочисленных экспериментальных исследований найдено, что оптимальными параметрами обладают токамаки.
- Токамаки - установки, в которых рабочая камера имеет форму баранки.

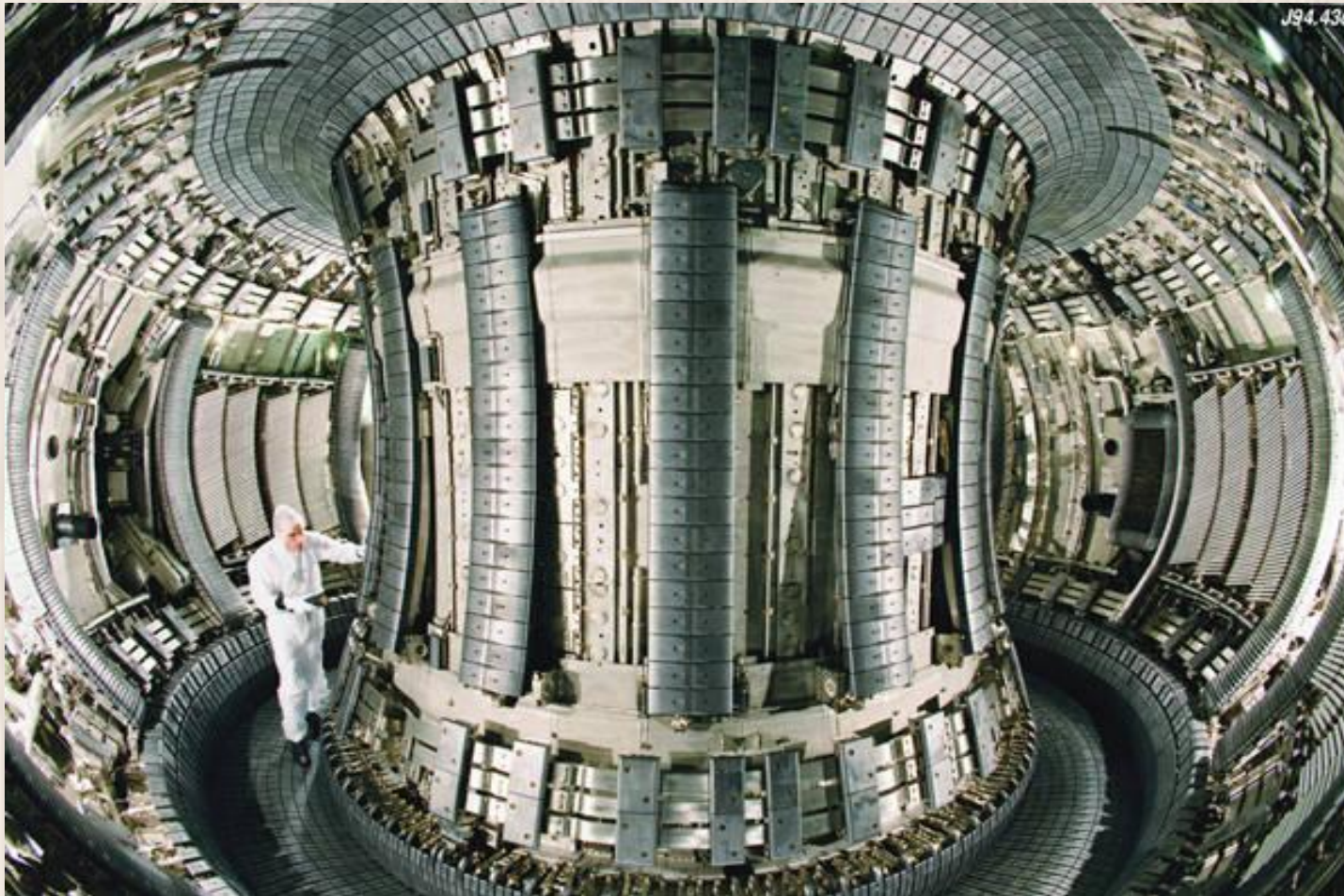
Магнитное удержание плазмы. Токамаки.



Магнитное удержание плазмы. Токамаки.

- Именно на токамаках удалось наиболее близко подойти к требуемым параметрам термоядерной плазмы. Но здесь необходимо отметить небольшую особенность. Практически весь успех обеспечивается за счет увеличения их размеров. Дело в том, что теория токамаков гласит: время удержания плазмы прямо пропорционально напряженности магнитного поля и квадрату размера установки. Поскольку предел напряженности магнитного поля практически достигнут, остается единственный путь - увеличение размеров. За время существования токамаков их диаметр вырос с 2 до 20 метров. Токамак со вспомогательным оборудованием - это целое предприятие стоимостью сотни миллионов и даже миллиарды долларов. Строительство очередного токамака занимает несколько лет, и после ряда экспериментов на нем следует вывод: требуется установка еще больших размеров.

Магнитное удержание плазмы. Токамаки.



ИТЭР

- В настоящее время осуществляется международный проект «ИТЕР» стоимостью более 10 миллиардов долларов. Проект ИТЭР, инициированный Россией и основанный на установке «Токамак», разработанной в Курчатовском институте, является результатом совместных усилий Европы, Японии, США и России. Несмотря на тяжелое положение науки с 90-х годов прошлого столетия Россия внесла достойный вклад в научную и инженерную проработку проекта. Успех проекта и ожидание интенсивного развития экологически приемлемой и безопасной термоядерной энергетики побудили Китай, Южную Корею и Индию присоединиться к проекту на фазе его реализации. Таким образом, в нем участвуют страны, население которых составляет большинство на Земле. Проектом предусмотрено, что термоядерная мощность реактора достигнет 500 МВт, что на порядок превысит мощность, затрачиваемую на поддержание плазмы. Будут также установлены закономерности поведения плазмы с термоядерным горением, отработаны основные технологии будущих энергетических реакторов. Вместе с тем, на ИТЭРе нет возможности провести полномасштабные испытания материалов, способных выдерживать потоки энергии на стенку будущих энергетических комплексов.

Мишенный синтез

- Здесь достигнуты большие успехи в технике сведения лучей, инжектировании топливных капсул, диагностике плазмы и т. п. Дело за малым – требуется лазерная система, обладающая необходимыми параметрами и с энергией импульса 1-10 МДж. А таковой в настоящее время не существует, и, следовательно, пока нет никаких реальных оснований прогнозировать успех данных работ.
- Автором этой идеи у нас в стране был академик П.Г. Басов, который совместно с академиком А.М. Прохоровым и американским учёным Чарлзом Х. Таунсеном в 1964 г. получил Нобелевскую премию как раз по лазерной тематике.

Лазерные установки

Установка NIF



Здание



Камера взаимодействия



Параметры установки:

- 192 канальный лазер на неодимовом фосфатном стекле
- Длина волны - 1,06 мкм
- Энергия на основной частоте лазера – 4,6 МДж
- Энергия в камере взаимодействия – 1,8 МДж (3 гармоника)
- Импульс профилированный с длительностью 5-10 нс
- Мощность – 500 ТВт

Рентгеновская мишень



19

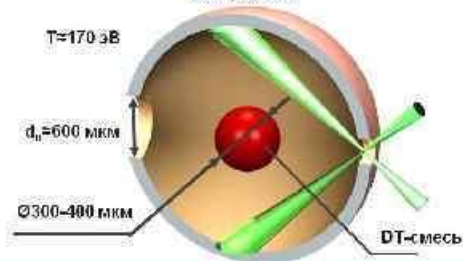
- Самой мощной лазерной установкой является американская установка NIF, которая заработала в 2010 году разрабатывалась на выдачу энергии 1.8 MJ.

Лазерные установки

Установка «Искра-5»



Сферическая мишень непрямого облучения



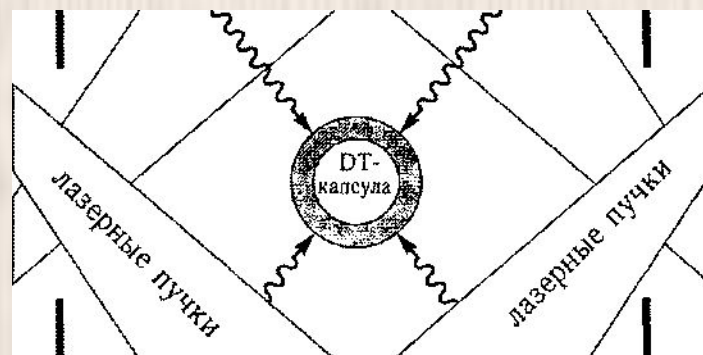
Параметры установки:

Энергия излучения	30 кДж
Длина волны	1,315 мкм
Длительность импульса	0,3-0,4 нс
Мощность	100 ТВт
Число каналов	12

Задача:

- Исследование физики работы мишени непрямого облучения.

Лазерная мишень

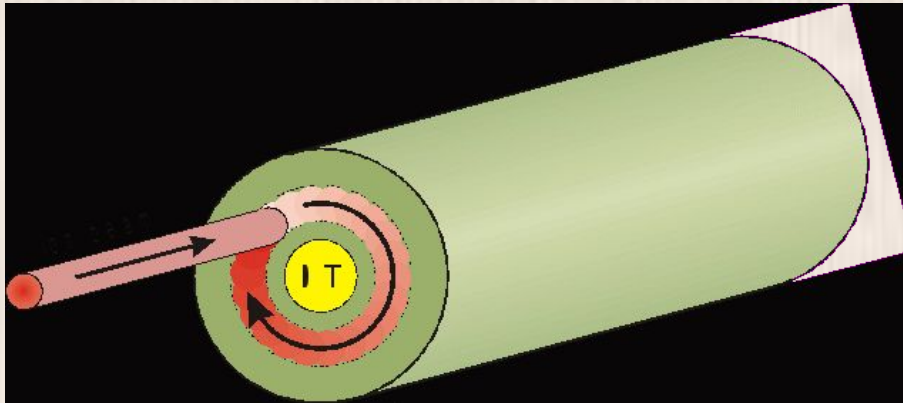


Лазерные установки

- Сейчас в России строится новая установка на 2.8 МДж. В строй она должна вступить в 2020 году (на нее было выделено 2 млрд рублей). Есть установки в Японии, Франции, Китае, но они очень маломощные и на них получить термоядерную энергию, конечно, не удастся. Они используются для других целей.

Тяжелоионный синтез

- Самой мощной установкой для тяжелоионного синтеза являлась наша установка в ИТЭФ. Пучок ионов облучает с торца цилиндрическую мишень, на оси которой находится термоядерное топливо (смесь DT), окруженное свинцовой оболочкой. Пятно пучка перемещается по торцу мишени по окружности, обеспечивая практически однородное по азимуту выделение энергии в кольцевом слое.

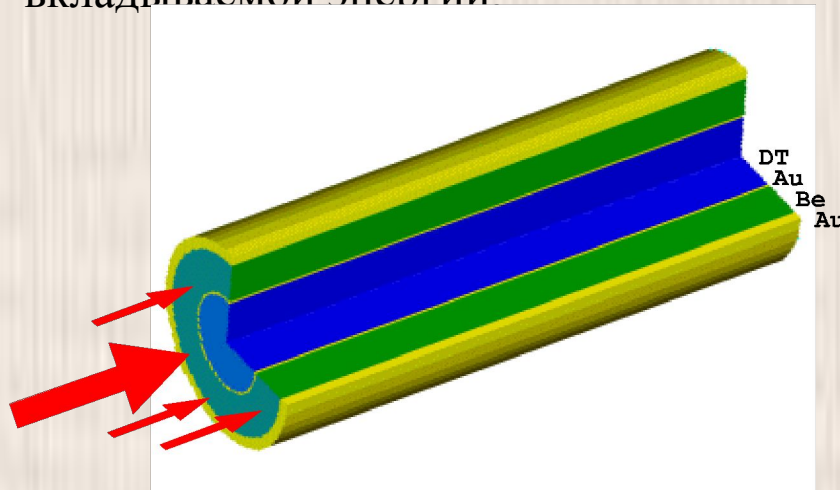


Тяжелоионные установки

- Установка использовалась до февраля 2012 не только для получения энергии при исследовании в тяжелоионном синтезе, но и для лечения онкологических больных. Была громадная очередь, чтобы попасть на нее со всей России. Сейчас строится аналогичная и даже мощнее установка в Кадараше Германии в кооперации. Россия входит в кооперацию: не только финансово, но и «мозгами», там работают наши специалисты на уровне академиков и член- корреспондентов . Это говорит о квалификации наших специалистов, принимающих участие в разработке этой установки.
- Главная задача при конструировании микромишеней для управляемого термоядерного синтеза состоит в подборе геометрии и закона энерговложения, при которых можно получить горение рабочей DT области. При этом энерговыход в результате термоядерных реакций должен быть больше, чем вложенная энергия (коэффициент усиления больше единицы). И немаловажным вопросом является величина вкладываемой энергии.

Тяжелоионные мишени

- В качестве примера приведу мишень с безударным сжатием, которая полностью оптимизирована как по геометрии, так и по величине вкладываемой энергии



- Численное конструирование таких мишеней рассматривается в спецкурсе «Кумуляции энергии в слоистых системах и реализация безударного сжатия»

Схема реактора

- Схематично термоядерный реактор можно представить в виде некоторого "черного ящика", в который вводятся топливо (дейтерий и тритий) и энергия E_1 для его нагрева. Выходят из "ящика" продукты реакции – быстрые частицы, нейтроны и выделяющаяся при синтезе энергия E_2 , которая должна быть больше затраченной E_1 . Однако техническая реализация данной физической задачи сталкивается с огромными трудностями. Ведь наступают реакции при температуре 100 миллионов градусов. Вещество при такой температуре это плазма (четвертое состояние вещества), удержать ее в течение даже долей секунды можно только в вакууме, изолировав его от стенок установки. В настоящее время решение проблемы управляемого синтеза развивается по двум главным направлениям: магнитное удержание плазмы (токамаки, стеллараторы и пр.) и инерциальное удержание (лазерный и тяжелоионный синтез).

Противоречивость проблемы

- В настоящее время взгляды на управляемый термоядерный синтез весьма противоречивы.
- С одной стороны, он практически не имеет равнозначной альтернативы, на решение проблемы уже затрачены огромные средства и отступить нельзя.
- С другой - каждый новый шаг дается путем все больших и больших затрат. Многим странам пришлось отказаться от продолжения исследований ввиду их чрезвычайной дороговизны. Даже самые горячие оптимисты ожидают, что задача может быть решена не раньше середины следующего столетия. Но к тому времени на Земле будут сожжены почти все запасы нефти и газа и, следовательно, человечество ожидает жесточайший сырьевой кризис. А если решение все же не будет найдено?...Перспективы столь мрачны и человечеству, чтобы избежать их, необходимо идти на баснословные затраты.

Итоги

- Очень важная особенность работ по управляемому термоядерному синтезу, то, что любой проект, независимо от предлагаемого способа удержания плазмы, сегодня оценивается в миллиарды долларов. Установки небольших размеров и меньшей стоимости уже давно себя исчерпали. Во всем мире над проблемой синтеза работают почти 100 тысяч человек, поиском решения занимаются крупнейшие ученые, опытные инженеры и конструкторы. Говорить о том, что в ходе решения были допущены какие-то ошибки, нет абсолютно никаких оснований. И в результате многолетних исследований вся эта армия ученых приходит к однозначному выводу: решение проблемы управляемого синтеза возможно только путем увеличения размеров установок при астрономических затратах на их построение.

Я хотела показать, что в такой жизненно важной области- как получение энергии- широчайшее поле для исследований.