**Ядерные реакции и современная энергетика**

**Неядерные источники энергии.**

Вся промышленная энергетика на нашей планете до конца 40х годов в качестве источника в конечном итоге использовала энергию, поставляемую Солнцем. Гидро электростанции работают за счет энергии спускающейся с гор к морю воды, которая “доставляется” обратно за счет процессов испарения с поверхности океана. Используемые в тепловых двигателях горючие вещества (дерево, уголь, нефть) имеют биологическое происхождение и возникли в результате утилизации энергии Солнца растениями в процессе фотосинтеза. Ветряные двигатели используют энергию циркуляции атмосферы, возникающей из-за ее неоднородного нагрева. Исключение составляют пожалуй только приливные электростанции, не получившие до сих пор широкого распространения.

Учитывая определяющую роль Солнца в современной энергетике, представляется важным рассмотреть процессы, обеспечивающие функционирование нашей звезды и возможности их использования для производства энергии в земных условиях.

**Сильные ядерные взаимодействия.**

В настоящее время надежно установлено, что составляющие вещество атомы представляют собой положительны ядра, окруженные отрицательно заряженными электронными облаками. В свою очередь ядра состоят из тяжелых частиц нуклонов: положительных протонов и незаряженных нейтронов. Для обозначения причин, удерживающих находящиеся в ядре положительные частицы от разлетания из-за электрического отталкивания были введены сильные ядерные взаимодействия. Ядерные силы существенно превосходят электрические лишь на расстояниях, сравнимых с размерами ядра, и очень быстро ослабевают при удалении нуклонов друг от друга (поэтому такие силы называют близко действующими). Механизм возникновения ядерных сил до сих пор окончательно не выяснен, хотя их свойства хорошо изучены экспериментально и находят практическое применение.

Дефект массы. Энергия связи. При сближении нуклонов на расстояния, допускающие “включение” ядерных сил, они образуют связанную систему с энергией, меньшей энергии свободных частиц. Неизбежное при таком процессе выделение энергии согласно формуле Эйнштейна (12\_13) приводит к уменьшению массы системы по сравнению с массой свободных частиц на величину



(1) ,



называемую дефектом массы. Измерения масс ядер позволяют определить энергию связи, выделяющуюся при образовании ядер (рис, 13\_1). Убывание энергии связи в области тяжелых ядер объясняется возрастанием их геометрических размеров, приводящим к уменьшению ядерных сил притяжения между удаленными друг от друга нуклонами по сравнению с силами их электрического отталкивания.

Из энергетических соображений ясно, что легкие ядра должны стремиться к соединению в более тяжелые (реакции ядерного синтеза), а тяжелые ядра - к распаду на более легкие части (реакции деления ). Соответствующие находящимся в средней части таблицы Менделеева химическим элементам ядра обладают максимальной энергией связи и поэтому стабильны.

Исторически ядерная реакция деления в земных условиях была осуществлена раньше, чем реакция синтеза.

Цепная реакция деления ядер урана. В природе помимо широко распространенного стабильного изотопа урана в малых количествах существуют ядра изотопа , способных к спонтанному (самопроизвольному) делению на две примерно равные части, сопровождающемуся вылетом двух нейтронов:



(2) .



Каждый из образовавшихся нейтронов может быть поглощен , что вызывает вынужденное деление изотопа



(3) ,



приводящее к дальнейшему увеличению числа нейтронов. Т.о. возникают предпосылки возникновения лавинообразно нарастающей цепной реакции деления, сопровождающейся громадным выделением энергии в виде ускоряемых силами электрического отталкивания кусков ядер урана. В природе такой процесс обычно не неблюдается из-за того, что превосходящие по концентрации способный к делению изотоп ядра эффективно поглощают нейтроны без последующего деления. Исключение, по-видимому, составляют лишь реакции деления тяжелых ядер, происходящие в недрах некоторых планет (в том числе и Земли).



Для искусственного осуществления цепной реакции (3) соединения урана обогащают, удаляя из них изотопы . Обогащение урана - весьма сложная и дорогостоящая операция, поскольку оба изотопа имеют одинаковые химические свойства и не могут быть разделены стандартными методами. При объединении нескольких небольших объемов обогащенного урана в один, масса которого превышает критическую, потери вылетающих из образца нейтронов уменьшаются, что приводит к возникновению цепной реакции, носящей характер весьма мощного взрыва, сопровождающегося выделением большого количества энергии, возникающей вследствие уменьшения массы участвующих в реакции частиц.



**Ядерные реакторы.**

С точки зрения энергетики представляет интерес осуществление управляемой реакции деления, протекающей при стационарной концентрации нейтронов. В принципе она может быть осуществлена путем введения в активную зону реактора с надкритической массой веществ, поглощающих нейтроны (реакторы на быстрых нейтронах). большее распространение получили более легко осуществимые и относительно менее опасные реакторы на медленных нейтронах, в основе которых лежат эффекты резкого увеличения вероятности реакции (3) в случае малых скоростей нейтронов и потери способности к их поглощению у изотопа . Реактор на медленных нейтронах представляют собой совокупность стержней из слабо обогащенного урана и замедлителя (вещества, способного эффективно уменьшать скорость образовавшихся при делении быстрых нейтронов, но не поглощающего их). Вылетающие из урановых стержней нейтроны отдают свою энергию замедлителю и попадают в другой стержень уже с малой скоростью, при которой из поглощение невозможно, а реакция вынужденного деления - весьма вероятна.



Стационарный режим работы реактора не является устойчивым и невозможен без внешнего управления. Управление процессами в реакторе осуществляется за счет механических перемещений поглотителей нейтронов, возможные скорости которых намного меньше характерных скоростей рождения нейтронов в реакции (3). Управление оказывается возможным благодаря существованию значительно более медленного процесса рождения запаздывающих нейтронов , обусловленных слабыми ядерными взаимодействиями.

Выделяющаяся в реакторе тепловая энергия передается жидкому охладителю и впоследствии преобразуется в тепловую, электрическую или механическую форму.

Несомненным преимуществом атомных электростанций является высокая энергетическая эффективность уранового топлива (отношение энергоотдачи к массе вещества), что приводит к значительному удешевлению его транспортировки и, следовательно, производимой энергии. К недостаткам использования ядерных реакторов в интересах энергетики следует отнести прежде всего экологическую опасность их топлива и продуктов, возникающих после деления, обусловленную их радиоактивностью. Так проблема утилизации отходов ядерного горючего и демонтажа отработавших запланированный срок ядерных котлов до сих пор не решена.

Термоядерный синтез. Для осуществления реакции синтеза достаточно сблизить нуклоны на расстояние, достаточное для “включения” ядерных сил притяжения. Этому препятствуют электрические силы отталкивания, приводящие к возникновению потенциального барьера реакции (рис. 13\_2), для преодоления которого нуклонам необходимо сообщить весьма значительную кинетическую энергию. В земных условиях температуру, обеспечивающую “поджигание” термоядерной реакции, удается получить за счет цепной реакции деления урана . “Водородная бомба” представляет собой объем с ядерным горючим (обычно дейтерий), помещенный внутрь урановой бомбы, играющей роль запала, поджигающего реакции ядерного синтеза:

(4)



Реакции термоядерного синтеза по-видимому являются источником, поддерживающим горения звезд. В пользу этого говорят данные астрономических наблюдений о химическим составе звезд (в основном легкие элементы - водород, гелий, являющиеся сырьем для реакций синтеза) и из температуре (температура Солнца K достаточна для поддержания реакций водородного цикла:



(5) .



При более высоких температурах начинается “горение” ядер более тяжелых элементов(реакции гелиевого, углеродного, аргонового циклов), которое происходит с меньшим по сравнению с (5) энерговыделением, но играет решающую роль в процессах синтеза ядер тяжелых элементов нашей Вселенной.

Исходная для водородного цикла (5) реакция превращения водорода в дейтерий протекает весьма медленно, т.к. входящий в нее процесс распада протона на нейтрон и позитрон обусловлен не сильными, а слабыми ядерными взаимодействиями. О реальном протекании такой реакции модно судить по наличию возникающих в ее результате легких частиц - нейтрино. Эксперименты по регистрации приходящего с Солнца нейтринного потока весьма сложны (нейтрино слабо взаимодействуют с веществом и пролетают сквозь него, “не оставляя следа”; помимо “солнечных” нейтрино имеется сильный фон, создаваемый прилетающими из дальнего космоса частицами) и до сих пор дают отрицательные результаты. Отсутствие приходящих с солнца нейтрино можно либо отнести к ошибкам в весьма сложном эксперименте, либо рассматривать как указание на протекание на солнце отличных от (5) реакций, либо как свидетельство о том, что реакции горения водорода на нашей звезде уже прекратились, а ее свечение - есть результат эффекта пленения излучения в плотной горячей плазме.

Проблема управляемого термоядерного синтеза. Главной проблемой в осуществлении коммерческого производства энергии за счет реакции синтеза состоит в удержании горячей плазмы, в ограниченном объеме реактора: при ее контакте со стенками атомы последних разрушаются. На звездах проблема удержания “решается” весьма просто: сильное гравитационное поле не дает плазме покинуть зону реакции. В условиях Земли, очевидно, такой способ удержания неосуществим.

В течение нескольких десятилетий проблему удержания пытаются решить, заменяя гравитационные силы более мощными - магнитными. Плазма помещается в неоднородное магнитное поле (“магнитные бутылки”), где заряженные частицы совершают квази периодическое движение между областями сгущения линий (аналогично тому, как космические частицы движется между магнитными полюсами Земли). Другой, более распространенной конфигурацией плазменного шнура в магнитном поле является тор (“Пристонский бублик”). Описанные устройства токамаки до сих пор не оказались работоспособными из-за разрушения конфигурации удерживающего магнитного поля дополнительными полями, генерируемыми сильными токами в плазме.

Другой подход к решению проблемы получил название лазерного термоядерного синтеза и состоит в облучении интенсивном дейтериевой мишени лазерным излучением, вызывающем частичное испарение ее поверхность, сжатие и, как следствие, разогрев до около солнечных температур. Основные сложности связаны с наличием принципиальных ограничений на предельную мощность лазеров, их низким КПД, проблемой фокусировки на небольшой мишени и синхронизации срабатывания нескольких лазеров.

В последние годы обсуждаются возможности осуществления термоядерного синтеза в значительно более “мягких” (по сравнению с горячей плазмой) условиях за счет процессов ядерного катализа. убедительных экспериментальных данных о возможности реализации такого подхода пока не получено.

Реализация управляемой реакции термоядерного синтеза явилась бы настоящим переворотом в современной энергетике, поскольку запасов дейтерия, содержащегося в 1км океанской воды в принципе достаточно для обеспечения сегодняшних энергетических потребностей человечества в течение 1 года ( при этом практически вся вода, оставшаяся после извлечения ничтожной примеси “тяжелой составляющей” может быть возвращена в океан.

