



ИОННЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Авторы: П. Р. Зенкевич

ИОННЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ (ИТС), возбуждение реакции термоядерного синтеза в дейтерий-тритиевой (DT) мишени путём сжатия и разогрева мишени пучками ускоренных ионов. Идея ИТС была высказана в 1974. К нач. 21 в. ИТС не осуществлён и находится в стадии разработки. Энергию, выделяющуюся при реакции, предполагается использовать для выработки электроэнергии.

Энергетич. установка для ИТС включает: 1) мишень; 2) драйвер, состоящий из ускорителя ионов и систем компрессии и фокусировки пучка на мишень; 3) реактор и систему преобразования тепловой энергии в электроэнергию.

Различают мишени прямого действия, которые облучаются непосредственно ускоренными ионами, мишени непрямого действия, в которых энергия пучков преобразуется в энергию рентгеновского излучения, и гибридные мишени, объединяющие оба принципа. Простейшие мишени прямого действия имеют сферич. форму и состоят из трёх слоёв: лёгкого вещества, в котором поглощается энергия (абсорбер), тонкого слоя из тяжёлого вещества (пушер) и термоядерного DT-топлива. Реакция синтеза развивается благодаря тому, что сжатая и разогретая DT-смесь в течение времени, достаточного для развития реакции, инерционно удерживается от разлёта тяжёлой наружной оболочкой. В результате облучения в мишени развивается давление порядка 10^7 МПа, сжимающее DT-смесь в 10^3 – 10^4 раз по объёму и разогревающее её до температур св. 2 кэВ (более 10^7 К). Кроме сходящейся ударной волны DT-смесь разогревается также электромагнитным и α -излучениями, которые возникают при реакции и задерживаются внутри мишени. Эти явления приводят к началу термоядерной реакции («поджигу» мишени) в центр. части, от которой термоядерная волна горения распространяется к внешним слоям мишени.

Мишени прямого действия в совр. исследованиях практически не рассматриваются, т. к. при прямом облучении трудно реализовать высокие требования к однородности облучения ($Q \approx 1\%$), связанные с опасностью возникновения гидродинамической неустойчивости на границе абсорбера и пушера.

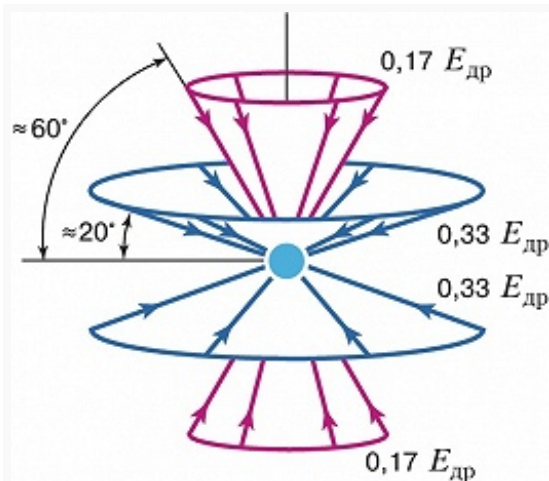


Рис. 1. Схема облучения мишени со сферическим хольраумом пучками тяжёлых ионов; $E_{др}$ – энергия драйвера.

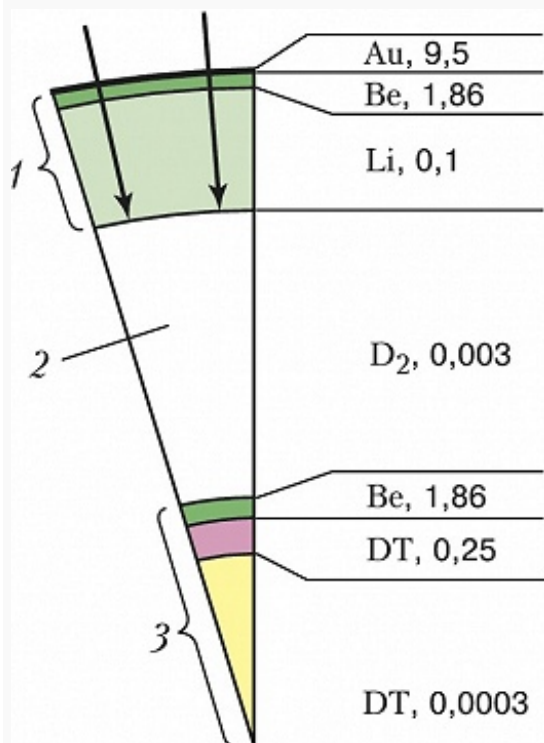


Рис. 2. Сегмент сферической DT-мишени, рассчитанной на поглощение 1 МДж рентгеновского

Гл. особенностью мишеней непрямого действия является пространственное разделение абсорбера и области ускорения сферической оболочки DT-топлива; пространство между абсорбером и DT-капсулой называется хольраумом (hohlraum). Создать симметричное облучение рентгеновским излучением очень сложно. Эта задача решается разл. способами. В качестве примера на рис. 1 приведена схема со сферич. облучением мишени ионными пучками под разл. углами, предложенная рос. физиком М. М. Баско. Сначала абсорбер 1 (рис. 2) симметрично облучается тяжёлыми ионами. В результате облучения ионами в хольрауме 2 генерируется рентгеновское излучение с характерной темп-рой 100–300 кэВ, которое попадает на капсулу 3 и инициирует DT-реакцию. В таких мишенях применяются стандартные DT-капсулы, по конструкции совпадающие с мишенью, используемой в [лазерном термоядерном синтезе](#). Капсула, рассчитанная на поглощение 1 МДж рентгеновской энергии, содержит 3,88 мг DT-топлива и по расчётам может иметь термоядерный выход ок. 420–430 МДж при использовании ионных пучков со следующими параметрами: энергия 6 МДж, длительность

излучения: 1 – абсорбер; 2 – хольраум; 3 – DT-капсула. Приведены химический состав и плотность (г/см³) слоёв мише...

импульса 6 нс, энергия ускоренных ионов 5–7 ГэВ; коэф. термоядерного усиления мишени примерно 80. Др. способ симметризации рентгеновского облучения капсулы – применение несферич. мишеней со сложной

конфигурацией.

Для ускорения ионов в драйвере используются линейные ускорители (ЛУ) – индукционные и резонансные (см. [Тяжёлых ионов ускорители](#)). Ток пучка на входе в ЛУ, как правило, мал (порядка 1–10 А), а ток пучка на мишени для достижения необходимой мощности составляет неск. десятков кА. Увеличение тока достигается за счёт компрессии сгустка ионов. В схеме с резонансным ЛУ компрессия осуществляется с помощью накопительных колец; в индукционном ЛУ компрессия пучка происходит по мере его ускорения за счёт выбора формы импульса напряжения на индукторах.

В обоих случаях достижение столь большого коэф. компрессии (10^3 – 10^4) представляет собой сложную науч.-технич. задачу. Из-за кулоновского расталкивания ионов серьёзной проблемой является также фокусировка сильноточных ионных пучков на малую мишень (размером в неск. мм). Возможный выход из положения – применение плазменных каналов в системе оконечной фокусировки пучка.

Высокая стоимость и сложность установки для ИТС требуют тщательной разработки технологии её осн. элементов и полного понимания процессов в системах, из которых она состоит. Исследования по ИТС проводят мн. науч. центры в США, Германии, России, Японии и др. странах.

Литература

Лит.: Дюдерштадт Дж., Мозес Г. Инерциальный термоядерный синтез. М., 1984; Ядерный синтез с инерциальным удержанием / Под ред. Б. Ю. Шаркова. М., 2005.