

УДК 539.1

## «МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ: ЗА И ПРОТИВ»

**Ташкеев Досымжан Русланович**

[Dosymzhan\\_28\\_99@mail.ru](mailto:Dosymzhan_28_99@mail.ru)

Студент Физико-технического факультета международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Шаханова Г.А

**Мюонный катализ** — процесс, облегчающий слияние ядер, например, изотопов водорода, происходящий при участии отрицательно заряженных мюонов. Реакция синтеза проходит при относительно низкой температуре в отличие от классического термоядерного синтеза, поэтому его также называют «**холодный синтез**». В настоящее время не может быть использована в термоядерном синтезе, так как невыгодна из-за высоких энергетических затрат на получение мюонов.

Используется **мюонный катализ** для получения энергии через термоядерный синтез. При достижении положительных результатов в окупаемости вложенных средств, данный вид термоядерного синтеза сможет конкурировать с невозобновляемыми источниками энергии и стать одним из основных источников энергии. Мюонный катализ благодаря низкой температуре синтеза является наиболее перспективным и эффективным способом получения энергии через термоядерный синтез (ТС).

Сущность процесса состоит в следующем: отрицательно заряженный мюон (нестабильная частица с временем жизни  $\tau_{\mu} = 2,2 \cdot 10^{-6}$  с и массой  $m_{\mu} = 206,769 m_e$ ), попадая в смесь изотопов водорода, образует там мезоатомы — атомы, в которых электрон заменён мюоном, — атомы протон-мюон (H- $\mu$ ), дейтрон-мюон (D- $\mu$ ) и тритон-мюон (T- $\mu$ ), которые, сталкиваясь затем с молекулами H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> и T<sub>2</sub> (а также с молекулами HD, HT и DT), образуют мезомолекулы HH- $\mu$ , HD- $\mu$ , HT- $\mu$ , DD- $\mu$ , DT- $\mu$  и TT- $\mu$  (или, точнее, мезомолекулярные ионы (HH- $\mu$ )<sup>+</sup>, (HD- $\mu$ )<sup>+</sup> и т. д.).

Мезомолекула образуется резонансным образом: при определенных стечениях экспериментальных условий ядра сливаются. Причем это происходит при температурах, гораздо меньших, чем необходимы для «стандартного» термоядерного синтеза.

Поскольку мюон примерно в 207 раз тяжелее электрона, то размеры мезомолекул во столько же раз меньше размеров молекулярных ионов  $\text{H}_2^+$ ,  $\text{HD}^+$  и т. д., в которых ядра удалены друг от друга в среднем на расстояние в две атомные единицы  $\sim 2a_0 = 2h^2/m_e e^2 \approx 10^{-10}$  м. В мезомолекулах ядра удалены на расстояние примерно в две мезоатомных единицы  $\sim 2a_\mu = 2h^2/m_\mu e^2 \approx 5 \cdot 10^{-13}$  м, причем такое сближение происходит при обычных температурах. На такое же расстояние сближаются ядра изотопов водорода при кинетической энергии  $\sim 3$  кэВ, что соответствует  $\sim 30$  миллионам градусов, которая сравнима с температурой, достигнутой в современных экспериментальных высокотемпературных термоядерных установках.

После образования мезомолекул  $\text{DD}\mu$ ,  $\text{DT}\mu$  и  $\text{TT}\mu$  чрезвычайно быстро, за время  $\tau$  порядка  $10^{-9}$ - $10^{-12}$  с, происходит слияние их ядер за счет сильного взаимодействия в реакциях. В мезомолекулах с протоном  $\text{HD}\mu$  и  $\text{HT}\mu$  скорость слияния ядер малая (время жизни до слияния  $\sim 10^6$  с $^{-1}$ ) в таких реакциях, так как определяется относительно слабым электромагнитным взаимодействием.

Поскольку эти реакции в мезомолекулах идут в присутствии мюона  $\mu^-$ , то для каждой из них возможны три исхода, а именно, мюон может или освободиться, или же образовать мезоатом гелия или распаться. Свободный мюон может катализировать следующую реакцию синтеза, а мюон, захваченный ядром гелия (альфа-частицей) - нет, также, происходят распады мюонов на электроны и антинейтрино, время жизни мюона около 2,2 мкс.

Таким образом, число реакций синтеза  $X_c$ , инициируемых одним мюоном, ограничено величиной коэффициента прилипания мюона к гелию<sup>[1]</sup> ( $\approx 0,5$ -1 %) и их распадами.

Экспериментально удалось получить значения  $X_c \approx 100$ , то есть один мюон способен высвободить энергию в  $100 \times 14$  МэВ = 1,4 ГэВ. Но эта величина все же меньше, чем энергетические затраты на производство самого мюона на ускорителе (5 - 10 ГэВ для пучка дейтронов). Таким образом, мюонный катализ пока энергетически невыгодный процесс. Коммерчески выгодное применение мюонного катализа для производства энергии возможно при  $X_c$  свыше  $10^4$ .

Также предлагалось использование мюонного катализа для ядерного бридинга путём получения большого потока нейтронов в управляемой термоядерной реакции и использование нейтронов для последующей трансмутации урана-238 в плутоний-239. Причиной для такого использования, как уже указывалось выше, является тот факт, что мюон тяжелее, чем электрон, поэтому он обеспечивает более прочную химическую связь и большее сближение ядер, за счёт чего понижается требуемая температура плазмы для зажигания термоядерной реакции.

Предполагается, что добавка подобных частиц в систему, где идёт ТС, сможет понизить минимальную температуру плазмы, необходимую для слияния новых ядер. А поскольку в ходе некоторых из реакций синтеза могут образовываться мюоны, то вместо распавшихся должны возникать новые частицы, которые позволят продолжать жечь водород и другие элементы с образованием более тяжёлых частиц.

Исходя из вышесказанного, можно выделить следующие преимущества и недостатки мюонного катализа:

Более экологически чистое производство электроэнергии. Это связано с тем, что «побочными» результатами термоядерной реакции являются такие элементы как гелий-4 (инертный газ, нетоксичен) и тритий, который можно применять в качестве топлива. Применение «вторичного трития» уменьшит топливную составляющую, а значит, энергия будет дешевле.

Относительная доступность синтезирующих материалов (топлива). Дейтерий без трудностей можно добыть из морской воды. Литий достаточно распространенный элемент в земной коре. Имеется возможность воспроизведения трития в термоядерных реакторах. Для запуска и работы термоядерного реактора при D-T синтезе нужны только три вышеперечисленных вещества.

Термоядерные установки, по сравнению с энергообъектами, которые используют нефтепродукты и уголь, не вредят окружающей среде посредством выделения парниковых газов, или аэрозольных загрязняющих веществ.

Термоядерный синтез не относится к цепным реакциям, из-за этого он подвержен более стабильному и простому контролю. Термоядерная установка, в отличие от термоядерной бомбы, не может взорваться из-за ошибок персонала или поломок оборудования. Из-за конструктивных особенностей термоядерной энергетической установки и небольшого количества используемого топлива взрыв ядра реактора невозможен.

Более безопасное использование энергообъекта. Эксплуатация термоядерного реактора намного безопаснее атомного. При его повреждении расплавления активной зоны и выброса радиоактивных веществ не происходит, так как при эксплуатации реакцию термоядерного синтеза нужно подпитывать базовым топливом или энергией. Наряду с преимуществами термоядерная энергетика имеет и свои недостатки:

**Активация конструкционных материалов.** Несмотря на то, что в активной зоне установки при реакции D-T синтеза не создаются радиоактивные элементы, излучаемые нейтроны с течением времени производят активацию оболочки реактора. Проблему можно частично решить применением материалов, которые менее чувствительны к радиационному воздействию. В процессе эксплуатации термоядерного реактора небольшое количество радиоактивного трития может быть выброшено в окружающую среду. Период его полураспада (время, за которое он утратит половину радиоактивности) – 12 лет.

Стоимость создания и постройки термоядерных реакторов и использования в них мюонного катализа намного превышает стоимость обычного ядерного реактора деления. Необходимо применение дорогих материалов, которые имеют низкую чувствительность к радиации. Такие материалы, по сравнению с обычными, более стойки к радиоактивной активации из-за бомбардировки нейтронами. Например, со сталью, которая применяется при изготовлении корпусов реакторов.

Несмотря на недостатки перспектива использования термоядерной энергетики остается заманчивой.

Дело в том, что число реакций, которые может вызвать один мюон, ограничено в основном величиной коэффициента прилипания мюона к гелию и временем его жизни. При самой интересной для энергетиков реакции смеси дейтерия и трития мюон прилипает в половине процентов случаев.

Экспериментально было зарегистрировано сто пятьдесят реакционных циклов на один мюон. Чтобы по КПД синтеза выйти в ноль, нужно добиться пятисот циклов. Для перевода в промышленные масштабы - увеличить это значение на порядок-два. Это пока недоступно. Но если получится реализовать мюонный катализ в повседневной жизни, то это в разы сократит расходы на выработку энергии и поможет человечеству хотя бы частично отказаться от невозобновляемых источников энергии, которые загрязняют окружающую среду и влияют на глобальное потепление.

#### **Список использованной источников**

1. Карнаков Б. М., «Мюонный катализ ядерного синтеза», Статьи соросовского образовательного журнала
2. Вайсенберг А. О. Мю-мезон. — М.: Наука, 1964. — 399 с.
3. Герштейн С С, Петров Ю В, Пономарев Л И "Мюонный катализ и ядерный бридинг" УФН 160 (8) 3–46 (1990)
4. Jackson, J. D. Catalysis of Nuclear Reactions between hydrogen isotopes by  $\mu^-$ -Mesons