

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ И ЭФФЕКТИВНОГО ЗАРЯДА ПЛАЗМЫ НА ЕЕ НАГРЕВ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ ^{*)}

Пришвицын А.С., Мирнов С.В.

АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ", prishv_a@mail.ru

В 1955 году британский инженер Дж. Д. Лоусон [1] сформулировал свой знаменитый критерий, согласно которому для положительного выхода энергии от термоядерной D-T плазмы с температурой ионов $T_i=10$ кэВ необходимо достичь $n_i\tau_E \geq 10^{20}$ с/м³. Быстрые нейтроны – главный энергетический продукт реакции синтеза (~80% выделяемой энергии) – покидают плазменный шнур, как известно, без каких-либо последствий для его ионов и электронов. Передать им часть энергии синтеза (оставшиеся ~20%) в магнитном поле токамака может только заряженная часть продукта – быстрые α -частицы (ядра гелия), причем, не менее 90% их энергии будет передано при этом электронам [2]. Основная часть ионов будет нагреваться уже от них за счет кулоновских столкновений [3].

Традиционно критерий Лоусона рассматривается в приближении чистой D-T плазмы, однако за счет интенсивного взаимодействия плазмы с первой стенкой [4] нейтральные атомы с зарядом ядра $Z>2$ проникают в горячий центр плазменного шнура, где они ионизируются. Полностью ионизированные атомы вносят вклад в тормозное излучение с мощностью, пропорциональной Z^2 . При существенном содержании примесей это излучение составляет значительную потерю мощности, которую необходимо компенсировать более сильным нагревом плазмы.

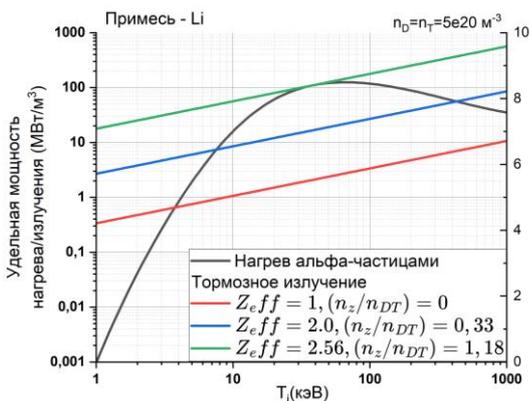


Рисунок 1. Сравнение удельных потерь на тормозное излучение и нагрев за счет альфа-частиц для термоядерной D-T плазмы.

В данной работе показан возможный предел содержания различных примесей (Li, В, О, и др.) в плазме будущих термоядерных установок с реакторными параметрами для удовлетворения критерия Лоусона. На рисунке 1, приведен график зависимости мощности, идущей на нагрев плазмы за счет альфа-частиц и мощности тормозного рентгеновского излучения с учетом основной примеси на примере лития. В случае равенства (зеленый график), можно получить значение максимально возможной допустимой концентрации примесей а так же значение необходимого температурного диапазона для различных примесей в D-T-плазме с концентрацией $n_D=n_T=5e20$ м⁻³.

Литература

- [1]. Lawson J.D. Some criteria for a power producing thermonuclear reactor //Proceedings of the physical society. Section B. – 1957. – Т. 70. – №. 1. – С. 6.
- [2]. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. – 1961.
- [3]. Kikuchi M. Fusion physics. – International Atomic Energy, 2002.
- [4]. Philipps V., Roth J., Loarte A. Key issues in plasma-wall interactions for ITER: a European approach //Plasma physics and controlled fusion. – 2003. – Т. 45. – №. 12A. – С. A17.

^{*)} DOI – тезисы на английском