Радиационные потери быстрых тяжелых частиц в термоядерной плазме [[1]](#footnote-1)\*)

Демура А.В., Леонтьев Д.С., Лисица В.С., Шурыгин В.А.

НИЦ «Курчатовский институт», Россия, Москва

В данной работе были рассчитаны радиационные потери альфа-частиц и электронов на тяжелых примесных ионах вольфрама в термоядерной плазме. Радиационные потери плазмы на тяжелых ионах примеси, вызванные возбуждением электронами, важны для определения эффективности работы термоядерного реактора. Основную роль играет возбуждение электронами примесных ионов, которое сопровождается их высвечиванием. От этого зависит энергетический баланс плазмы, так как радиационные потери энергии электронами могут привести к гашению термоядерной реакции при критической (летальной) концентрации примесей. Новый канал радиационных потерь связан с возбуждением ионов примеси быстрыми тяжелыми частицами, и его необходимо сравнить с величиной аналогичных потерь электронов. Важным параметром, необходимым для мониторинга плазмы, является соотношение между радиационными потерями альфа-частиц и электронов.

Так как электронная структура многозарядного иона довольно сложна, то квантовомеханические расчеты представляют сложную задачу, и поэтому необходимо развитие методов, позволяющих их облегчить. Одним из таких методов является статистическое приближение, которое применимо в данном случае, так как в ионе сохраняется большое число связанных электронов. Согласно этому подходу удельные (на одну частицу и один ион примеси) радиационные потери *q* выражаются через статистические сечения фотовозбуждения σph(ω) и поток эквивалентных фотонов, создаваемого налетающей заряженной частицей, которая движется в поле многоэлектронного иона по классической траектории. Интенсивность данного потока определяется квадратом фурье-разложения электрического поля рассматриваемой налетающей частицы, действующей на связанные электроны иона [1]. Эти сечения фотовозбуждения следует умножить на энергию фотона, скорость налетающей частицы и проинтегрировать по всем поглощаемым частотам. В статистическом подходе рассматриваются коллективные возбуждения электронных оболочек с частотами ω(r), зависящими от расстояния от ядра. Было предложено две модели такой зависимости: модель локальной плазменной частоты (ЛПЧ) [2,3] и модель, основанная на принципах крамерсовской электродинамики (модель Роста) [4], селективная по орбитальному моменту остова. Результаты расчетов статистических моделей сравнивались с результатами, выполненными в Кулон-Борновском приближении [5]. Для расчета радиационных потерь следует взять приведенные в [5] скоростные коэффициенты возбуждения и проинтегрировать (просуммировать) их по всем возбуждаемым частотам.

Сравнение результатов расчетов по статистическим и Кулон-Борновскому приближениям показало, что все модели дают близкие друг к другу результаты, при этом при росте температуры наблюдается возрастание отношения потерь. При этом, данное отношение составляет до 1-5%, что гораздо ниже первоначальных грубых оценок в 20%, выполненных при помощи общего сечения для неупругих переходов.

Литература

1. Fermi E. Zeitschrift für Phys. 1924. Vol. 29, № 1. P. 315–327.
2. Demura A. V. et al. JETP Lett. 2015. Vol. 101, № 2. P. 90–93.
3. Demura A. V. et al. Atoms. 2015. Vol. 3, № 2. P. 162–181.
4. Kogan V.I., Kukushkin A.B., Lisitsa V.S. Phys. Rep. 1992. Vol. 213, № 1–2. P. 1–116.
5. Skobelev I.Y., Vinogradov A. V. C J. Phys. B At. Mol. Phys. 1978. Vol. 11, № 16. P. 2899–2905.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](../en/HT-Leont'ev_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)