Лабораторная астрофизика на основе ядерного горения в глубокой потенциальной яме виртуального катода наносекундного вакуумного разряда

Ю.К. Куриленков, В.П. Тараканов, С.Ю. Гуськов1 и В.Т. Карпухин

ОИВТ РАН,   
1ФИ РАН, Москва, Россия

Выход DD нейтронов из межэлектродного пространства компактного наносекундного вакуумного разряда (НВР) малой энергии с дейтерированным Pd анодом был получен ранее [1]. Полное PIC моделирование условий эксперимента с НВР было проведено с помощью электродинамического кода КАРАТ. В частности, была выявлена принципиальная роль образования виртуального катода (ВК) и соответствующей глубокой квазистационарной потенциальной ямы (ПЯ) в процессах синтеза [2]. PIC моделирование позволило отнести настольный эксперимент с НВР к известной ранее схеме инерциального электростатического удержания (ИЭУ) [3 – 5]. Дейтроны ускоряются в ПЯ до энергий в десятки кэВ, что и обеспечивает DD ядерный синтез при встречных столкновениях дейтронов в моменты их коллапса на «дне» ПЯ. В частности, дейтроны могут совершать высокочастотные (~80 МГц) гармонические колебания в потенциальной яме, аналогичные ПОПС [5], что сопровождается в эксперименте пульсирующим выходом DD нейтронов [6]. Забавно, что данная схема ИЭУ как нагревает ионы до термоядерных температур на стадии сжатия, так и приводит к их «остыванию» до криогенных температур, когда плазма расширяется и становится сильнонеидеальной [5]. Накопленные опытные данные в эксперименте по DD синтезу в НВР позволяют предположить, что ядерное горение в ПЯ может также имитировать и некоторые особенности нуклеосинтеза в звёздах. Действельно, ионы других элементов, таких как He, C, O, Si (основные компоненты звёздных оболочек) даже при малых зарядах Z, оказавшись на краю ПЯ в НВР могут быть ускорены до энергий встречных столкновений формально соответствующих температурам зажигания в различных оболочках Tign ~ 1 – 300 кэВ [7] (напомним, что энергия сложных ионов на «дне» ПЯ будет ~ZU, где U есть глубина ПЯ). Эксперимент с НВР с дейтерированным анодом обнаруживает появление и накопление таких элементов как C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca и других. В частности, компонентный анализ показал, что характеристическое излучение рентгена с поверхности анода содержит появившиеся в процессе эксперимента новые линии кремния и серы. Поверхность края алюминиевого катода также, помимо лёгких элементов, содержит Fe и Mn. При этом соотношение их концентраций оказалось Mn/Fe > 1 во всех областях катода, и может быть объяснено захватом DD нейтронов железом, Fe(n,p)Mn, в процессе большого числа выстрелов. В целом, можно заключить, что гипотеза об имитации некоторых особенностей звёздного нуклеосинтеза при ядерном горении в потенциальной яме виртуального катода в НВР представляется не абсурдной и стимулирующей дальнейшее изучение горения сложных элементов, включая безнейтронное типа р – B11.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-08-01333а и 12-08-12055 ОФИм

Литература

1. Yu.K. Kurilenkov, M. Skowronek and J.Dufty. *J.Phys.A:Math&Gen* **39** (2006) 4375.
2. Yu. K. Kurilenkov, V.P.Tarakahov, S.Yu.Gus’kov et al. *J.Phys.A: Math &Theor* **42**(2009)214041; Yu. K. Kurilenkov et al. *Plasma Physics Reports* **36** (2010)1227–1234
3. Лаврентьев О.А.К истории термоядерного синтеза в СССР. Изд. 2-е. – Харьков, 2012.
4. W. C. Elmore, J. L. Tuck, and K. M. Watson. *Phys. Fluids* **2** (1959)239.
5. R.A. Nebel and D.C. Barnes *Fusion Technology* **38** (1998) 284 J. Park, R.Nebel *et al.*  *Physics of Plasmas* **12** (2005) 05631.
6. Yu.K. Kurilenkov, V.P.Tarakanov et al. *Contrib. Plasma Phys.* **51**, No. 5 (2011) 427 – 443.
7. D.D. Clayton . Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis. The University of Chicago Press, Chicago and London, 1983.