

ИССЛЕДОВАНИЕ СТИМУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДОВ DD-РЕАКЦИЙ ИЗ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ Pd/PdO:D_x ПУЧКАМИ ИОНОВ H⁺ И Ne⁺ НА УСТАНОВКЕ ГЕЛИС

А. В. Багуля, О. Д. Далькаров, М. А. Негодаев, А. С. Русецкий,
А. П. Чубенко, А. Л. Щепетов

Приводятся результаты стимулирования выходов DD-реакций из гетероструктуры Pd/PdO:D_x пучками ионов H⁺ и Ne⁺ в диапазоне энергий 10–25 кэВ. Измерялись потоки нейтронов и протонов с помощью нейтронного детектора на основе He-3 счетчиков и пластикового трекового детектора CR-39. Измерения показали наличие значительных эффектов усиления выходов DD-реакций. Потенциал экранирования для данной гетероструктуры при данных условиях эксперимента оказался равен $U_e = 897$ эВ.

Ключевые слова: стимуляция ядерных реакций, DD-реакции.

Важными факторами, влияющими на усиление протекания ядерных реакций в твердом теле, могут быть различные внешние излучения (электроны, рентгеновские кванты и др.). Так, например, в [1] было показано, что воздействие пучка электронов с энергией 30 кэВ и рентгеновского пучка с энергией квантов до 120 кэВ инициирует в системах Pd/PdO:D_x и Ti/TiO₂:D_x синтез ядер дейтерия с выходом 3 МэВ протонов.

Предшествующие исследования выходов DD-реакций из гетероструктуры Pd/PdO:D_x при облучении дейтронами в диапазоне энергий дейтронов 10–25 кэВ на установке ГЕЛИС показали наличие значительных эффектов усиления [2].

В настоящей работе исследовалась возможность стимулирования выходов DD-реакций из гетероструктуры Pd/PdO:D_x пучками ионов H⁺ и Ne⁺ в диапазоне энергий 10–25 кэВ на установке ГЕЛИС.

Измерялись потоки нейтронов и протонов (продуктов DD-реакций) с помощью нейтронного детектора на основе He-3 счетчиков и пластикового трекового детектора CR-39.

Параметры установки ГЕЛИС, процедура изготовления мишеней Pd/PdO:D_x, схема эксперимента, а также результаты калибровки детекторов подробно описаны в [2]. В эксперименте, описанном в этой работе, вместо пучка дейтронов использовались пучки ионов Н⁺ и Ne⁺ с энергиями 10–25 кэВ для воздействия на дейтерированную мишень Pd/PdO:D_x.

Облучение мишеней Pd/PdO:D_x толщиной 50 мкм пучком протонов проводилось при энергиях 10 и 25 кэВ. Фоновые измерения проводились с мишенью Pd/PdO:H_x. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Мишень толщина, мкм	E_p , кэВ	I_p , мА	t_{exp} , ч	N_p , см ⁻²	n_p , с ⁻¹	N_{gr} , см ⁻²	n_n , с ⁻¹	Y_{dd}
Pd/PdO:H _x , 50	10	0.12	0.5	1	0	1	0	0
Pd/PdO:H _x , 50	25	0.12	0.5	1	0	1	0	0
Pd/PdO:D _x , 50	10	0.12	0.5	16	0.34	28	$1.6 \cdot 10^2$	$3.6 \cdot 10^{-15}$
Pd/PdO:D _x , 50	25	0.12	0.5	45	0.77	32	$1.8 \cdot 10^2$	$4.1 \cdot 10^{-15}$

Здесь E_p, I_p – энергия и ток пучка протонов; t_{exp} – время измерений; N_p, n_p – плотность треков и поток протонов в направлении против пучка; N_{gr}, n_n – плотность треков протонов отдачи и поток нейтронов в направлении по пучку; Y_{dd} – экспериментальный выход DD-реакции.

На рис. 1 показаны распределения диаметров треков на детекторах CR-39 с покрытием 11 и 55 мкм Al, расположенных над мишенью. Для качественного сравнения показаны такие распределения при облучении образцов Pd/PdO:D_x пучками как протонов, так и дейтронов. Видно смещение спектра вправо с увеличением толщины покрытия.

На рис. 2 показаны результаты измерения потока нейтронов детектором He-3 при воздействии пучка Ne⁺ с энергией 10, 15 и 20 кэВ на мишень Pd/PdO:D_x. Фоновые измерения проводились с аналогичными пучками на мишени Cu. Из рис. 2 видно, что при воздействии пучка на мишень Pd/PdO:D_x наблюдается превышение показаний нейтронного детектора над фоновыми значениями.

Для расчета выхода DD-реакции из мишени при облучении пучком ионов использовалась методика расчета, описанная в [2].

Чтобы оценить выходы DD-реакции из мишеней Pd/PdO:D_x при облучении пучком ионов, мы использовали упрощенную модель процесса, предполагающую, что десорбция дейтерия, стимулированная излучением, приводит к току дейтронов,двигающихся к

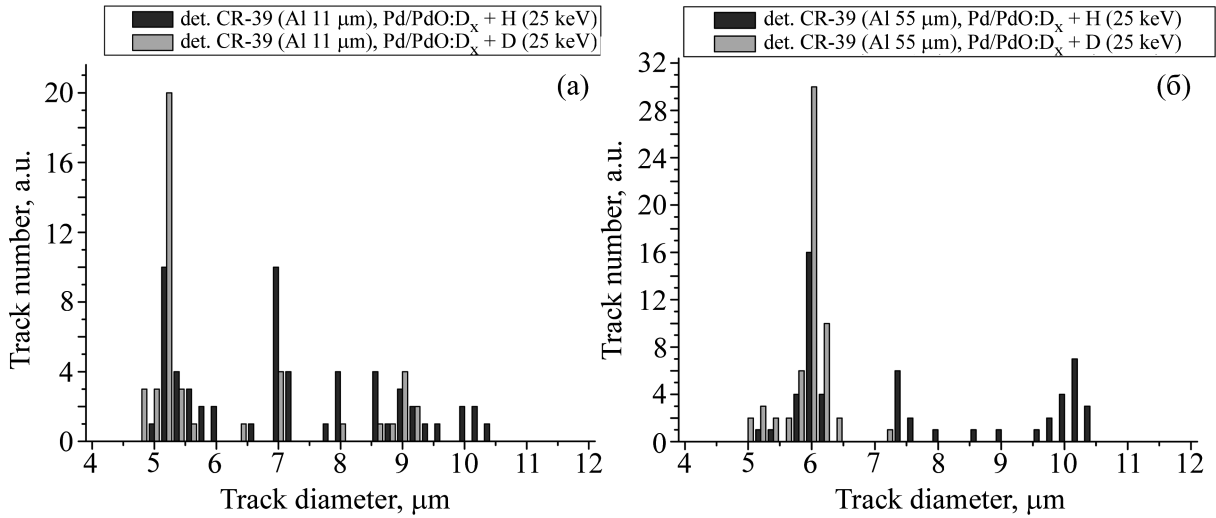


Рис. 1: Распределения диаметров треков на детекторах CR-39, расположенных над мишенью, с покрытием 11 (а) и 55 мкм Al (б). Для качественного сравнения показаны распределения от детекторов с облучением образцов Pd/PdO:D_x пучками протонов (тёмные столбцы) и дейтронов (светлые столбцы).

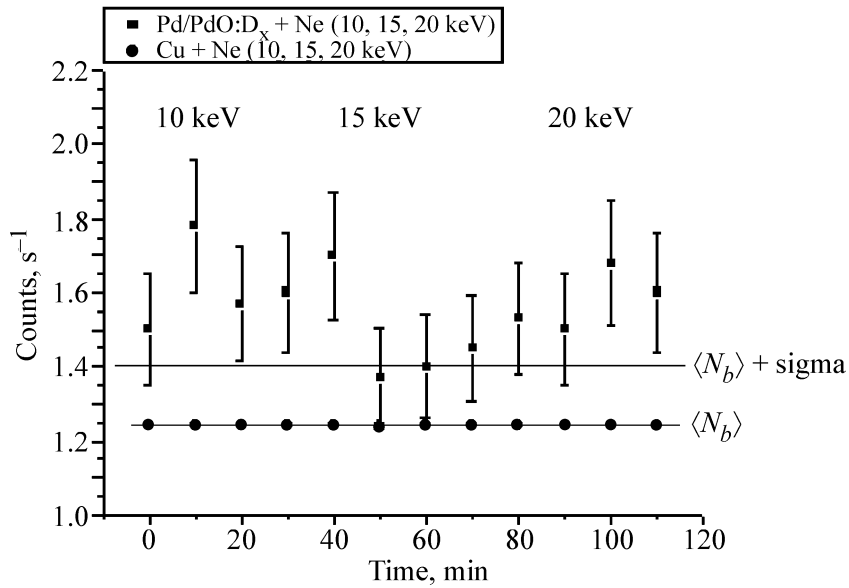


Рис. 2: Счет нейтронного детектора He-3 (■). Мишень – Pd/PdO:D_x 50 мкм, пучок – Ne⁺ (10, 15, 20 кэВ). Средний фон N_b (●) измерен с мишенью Cu.

поверхности из объема образца. Такой ток дейтронов можно рассматривать как “пучок”, а дейтерированную поверхность как “мишень”.

Потенциал экранирования U_e оценивался по полуэмпирической формуле [3]:

$$U_e = (T/T_0)^{-1/2}[a \ln(y) + b], \quad (1)$$

где $a = 145.3$ и $b = 71.2$ – численные константы и $y = ky_0(J_d/J_0)$, (здесь $k = \exp(-\epsilon_d \Delta T / k_B T T_0)$, $\epsilon_d = 0.086$ эВ – энергия активации дейтрона, $y_0 = 6.7$ Me/D – отношение концентраций атомов металла и дейтерия в мишени при $T_0 = 290$ К и $J_0 = 0.03$ mA/cm²), $J_d = 4.4$ mA/cm² – плотность тока дейтронов из мишени. Ток дейтронов определялся по скорости десорбции дейтерия из образца.

Потенциал экранирования для мишени Pd/PdO:D_x, рассчитанный по формуле (1), оказался равен $U_e = 897$ эВ.

Таким образом, впервые показано, что воздействие пучков ионов H⁺ и Ne⁺ в диапазоне энергий 10–25 кэВ на дейтерированную гетероструктуру Pd/PdO:D_x приводит к стимулированию выходов DD-реакции.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки (государственный контракт № 16.518.11.7104 по мероприятию 1.8 ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы”).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] И. П. Чернов, А. С. Русецкий, Д. Н. Краснов и др., ЖЭТФ **139**(6), 1088 (2011).
- [2] А. В. Багуля, О. Д. Далькаров, М. А. Негодаев и др., Краткие сообщения по физике ФИАН **39**(9), 3 (2012).
- [3] А. Г. Липсон, А. С. Русецкий, Б. Ф. Ляхов и др., Химия высоких энергий **42**(4), 361 (2008).

Поступила в редакцию 13 ноября 2012 г.

После переработки 8 октября 2013 г.