

04;05;11;12

©1995

## ГЕНЕРАЦИЯ ТРИТИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПЛОТНЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ ДЕЙТЕРИЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТАЛЛОВ

*В.А.Алексеев, В.И.Васильев, В.А.Ромоданов, Ю.Ф.Рыжков, С.В.Рылов, В.И.Савин, Я.Б.Скуратник, В.М.Струнников*

Исследование взаимодействия импульсных потоков плотной плазмы дейтерия с поверхностью различных металлов могут оказаться перспективными для изучения природы холодного синтеза, так как в этих процессах наблюдается сверхбыстрое разрушение кристаллической решетки с последующей сверхбыстрой закалкой со скоростью  $10^7-10^8 \text{ K} \cdot \text{c}^{-1}$  [1]. При такой закалке может сохраниться метастабильное состояние растворенных газов в металлах, при этом количество растворенных газов в металлах может более чем на порядок превышать равновесные величины [2]. Вторым важным обстоятельством является то, что с повышением температуры экспоненциально возрастает водородная проницаемость металлов [3]. Недавние эксперименты [4-6] показали, что при взаимодействии дейтериевой плазмы с поверхностью твердого тела ядерные реакции синтеза могут происходить при сравнительно низких энергиях ионов. При этом эффективность тритиевого канала превышает эффективность нейтронного на несколько порядков и существенно зависит от плотности потоков ионов, падающих на поверхность металлических образцов. Это обстоятельство делает перспективным исследование низкоэнергетических ядерных реакций синтеза в установках с плотными потоками дейтериевой плазмы.

Целью данной работы является исследование зависимости эффективности генерации трития от материала мишени в потоках плазмы Z-пинча на установке ТРИНИТИ.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Два дисковых стальных электрода 1 и 2 разделены изолирующей трубой 3 из фарфора. Диск и труба образуют замкнутую камеру, которую предварительно откачивают до высокого вакуума, а затем заполняют рабочим газом, в данных экспериментах — дейтерием, до давления  $\sim 30 \text{ Па}$ . Электрическая энергия подводится к электродам камеры от конденсаторной батареи 4 с помощью кабелей 5 и коммутируется вакуумным дисковым разрядником 7. Максимальная энергия

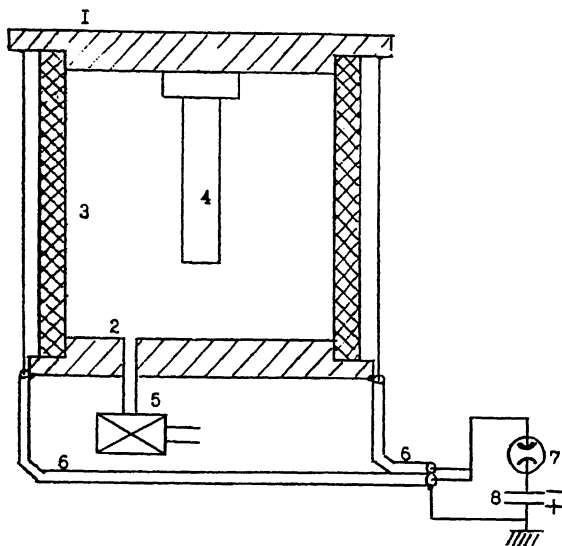


Рис. 1.

батареи  $\sim 100$  кДж при напряжении 25 кВ. Время полупериода тока в цепи  $\sim 5$  мкс.

При включении разрядника газ в камере пробивается, и в зоне минимальной индуктивности контура, т.е. около внутренней поверхности фарфоровой трубы, формируется цилиндрическая плазменная оболочка с током. По достижении необходимых для сжатия плазмы значений разрядного тока плазменная оболочка приобретает симметричное радиальное движение под действием пондеромоторных сил и, как итог, схлопывается на оси. В этот момент, как известно, в плазме достигаются высокие значения плотности частиц ( $\sim 10^{17}$  см $^{-3}$ ) и мощности, а также значения температур, характерные для горячего термоядерного синтеза.

В данных экспериментах к верхнему электроду, находящемуся под отрицательным потенциалом, по оси камеры подвешивались испытуемые образцы 4, и ускоренная плазма воздействовала на поверхность образца со всех сторон. Образец представлял собой стержень длиной 150 мм и диаметром 8–12 мм. Обработка образцов плазменными импульсами производилась при напряжении 12.5 кВ и энергии 22.5 кДж. Количество плазменных импульсов, подаваемых на образец, варьировалось от 20 до 100. При длительности импульса 5–10 мкс время воздействия на образец заметно меньше 5 мкс. Импульсы плазмы подавались с интервалом около 1 мин.

Собранный плазмообразующий газ и металлические образцы анализировались в тот же день на наличие три-

тия. Проводились исследования образцов из различных металлов, но полный цикл испытаний до настоящего времени прошли образцы из титана, ванадия, циркония и ниобия.

Анализ дейтерия на тритий проводили по  $\beta$ -активности жидкостным сцинтилляционным методом на установке "Бета-2". Относительная погрешность измерения содержания трития в пробах не превышала  $\pm 10\%$ . Для повышения точности измерений каждое измерение пробы плазмообразующего газа сопровождали измерением активности пробы газа, взятой из баллона.

Для определения трития в металлических образцах применялась аналогичная методика, по которой пробы воды для анализа получали с помощью травления металлических образцов в кислоте.

Основные результаты представлены в таблице. Видно, что суммарная наработка трития по газовой фазе составляла от  $4.8 \cdot 10^9$  атомов до  $1.7 \cdot 10^{11}$  атомов. Превышение активности проб над исходными значениями составляло от 8% до 320%, что с учетом применявшейся методики в основном превышало погрешность измерения.

Следует обратить внимание на то, что в экспериментах без образца и с образцом из ниобия зафиксировать наличие трития в газовой фазе не удалось. Возможно, что в экспериментах без образца отсутствие трития объясняется более низкой скоростью генерации трития в сжатой дейтериевой плазме, чем при взаимодействии этой же плазмы с твердым телом.

Количество трития в материале образцов могло превышать его содержание в газовой фазе на два порядка. Это связано с особенностью методики эксперимента, заключающейся в том, что во время воздействия плазмы на образец поверхность последнего нагревалась до температуры, превышающей температуру плавления, и затем остывала в течение нескольких минут.

Такое термоциклирование периодически изменяло растворимость водорода в образце и приводило к его периодическому поглощению и десорбции. Прямой изотопный эффект способствовал накоплению в металле более тяжелого изотопа, особенно сильно этот эффект проявился у ниобия. Наиболее высокая скорость генерации трития зарегистрирована для образцов из титана и циркония и составила  $(1-5) \cdot 10^{15}$  ат/с. Удельная скорость генерации трития, отнесенная к площади поверхности, оказалась выше более чем на порядок у титана по сравнению с ванадием и у циркония по сравнению с ниобием. Очевидно, это связано с более высокой растворимостью водорода в металлах четвертой группы.

Материал образца	Количество циклов	Проба плазмообразующего газа				Проба металлического образца			Суммарное количество трития, атом.	Скорость генерации трития, ат/с	Удельная скорость генерации трития, ат/с.см <sup>2</sup>
		Удельная активность, Бк/мл	Превышение над исходной, %	Количество трития, атом.	Активность пробы, Бк/г	Превышение над исходной, %	Количество трития, атом.				
Без образца	100	-2	-7	-	-	-	-	-	-	-	
	100	28	114	6·10 <sup>10</sup>	19	320	1.2·10 <sup>12</sup>	1.2·10 <sup>12</sup>	1.2·10 <sup>15</sup>	2.7·10 <sup>13</sup>	
	38	5	20	1.1·10 <sup>10</sup>	166	-	-	1.1·10 <sup>10</sup>	2.9·10 <sup>13</sup>	5.5·10 <sup>11</sup>	
Нержав. сталь	100	9	38	2·10 <sup>10</sup>	-	-	-	-	-	-	
	40	8,5	38	1.8·10 <sup>10</sup>	261	60	2.1·10 <sup>12</sup>	2.1·10 <sup>12</sup>	5.2·10 <sup>15</sup>	1.5·10 <sup>14</sup>	
Цирконий	100	-15	-60	-	25	82	4·10 <sup>11</sup>	4·10 <sup>11</sup>	4·10 <sup>14</sup>	9.1·10 <sup>12</sup>	

Зарегистрирована приблизительно на порядок более высокая удельная скорость генерации трития для образцов из циркония по сравнению с титаном, и для образцов из ниобия по сравнению с ванадием, что, возможно, связано со строением электронных оболочек атомов металла [7].

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют, что при взаимодействии плотной дейтериевой плазмы с металлическим образцом может происходить интенсивная генерация трития (около  $10^{15}$  ат/с), которая не зарегистрирована в плазме образца.

Показано, что интенсивность генерации трития увеличилась при увеличении растворимости водорода в металле и при увеличении атомного номера.

### Список литературы

- [1] *Алексеев В.А., Конкашбаев И.К., Киселев Е.А., Киселева Т.Д., Ляшенко В.Н., Матвеев В.Е., Скворцов Ю.В., Струнников В.М., Церевитинов С.С., Чистяков В.М.* // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 1. С. 42-46.
- [2] *Шмырева Т.П., Алексеев В.А., Бабичев А.П., Воробьев Г.М.* // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. С. 109-111.
- [3] *Канаев А.П., Шарапов В.М., Захаров А.П., Найденов А.М., Алексеев А.В.* // ЖФХ. 1988. Т. 62. С. 803-813.
- [4] *Ромоданов В.А., Савин В.И., Шахурин М.В. и др.* // ЖТФ. 1991. В. 5. С. 122-125.
- [5] *Ромоданов В.А., Савин В.И., Тимофеев Ю.М., Скуратник Я.Б.* // ВАНТ. Сер. ФРП и РМ. 1992. В. 1(58). 2(59) 1-137. С. 73-82.
- [6] *Srinivasan M. et al.* Proc. of the Conf. on Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems. Provo, Utah, October 22-24. 1990. AIP. 1991. P. 514-534.
- [7] *Romodanov V.A., Savin V.I., Skuratnik Ya.B., Korneev S.G.* // Proc. Fourth Intern. Conf. on Cold Fusion. December 6-9, 1993, Lahaina, Hawaii. TR-104188-V3. EPRI, 1994. P. 22(1-13).

Троицкий институт инновационных  
и термоядерных исследований

Поступило в Редакцию  
21 декабря 1994 г.