

03;12

©1992 г.

ИНИЦИИРОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА ПРИ КАВИТАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ДЕЙТЕРИЙСОДЕРЖАЩИЕ СРЕДЫ

*А.Г.Липсон, Б.В.Дерягин, В.А.Клюев, Ю.П.Топоров, М.Г.Сиротюк,
О.Б.Хаврошкин, Д.М.Саков*

Исследована возможность инициирования реакций “холодного” ядерного синтеза в процессе ультразвуковой кавитации в тяжелой воде. Обнаружена нестационарная эмиссия нейтронов при проведении кавитации в D_2O на титановом вибраторе, имеющем следы кавитационной эрозии (“приработанном” в D_2O в течение 20 ч). Максимальное превышение над уровнем естественного фона (12σ) зарегистрировано при кавитационном воздействии на суспензию дисперсных частиц $LaNi_5D_x$ в D_2O .

Введение

Ранее нами было показано, что при механических воздействиях на дейтерийсодержащие твердые тела наблюдается нестационарная эмиссия нейтронов [1-4]. Эмиссия нейтронов наблюдается также при дейтерировании титановых и палладиевых электродов в процессе электролиза в D_2O или насыщении их дейтерием из газовой фазы [5-11]. Во многих случаях появление нейтронных импульсов коррелирует с возникновением трещин в дейтерированных образцах, возникающих в областях металла, пересыщенных дейтерием. Так, в работах [9-12] наблюдались прямые корреляции изменения интенсивности нейтронных вспышек с сигналами акустической эмиссии, связанной с растрескиванием титана и палладия, насыщаемых дейтерием из газовой фазы или при электролизе.

В работах [1-4] нами было указано на возможность инициирования DD -реакций в трещинах, которые могут протекать в процессе высвобождения и ускорения свободных дейтеронов до энергий ~ 10 кэВ. Недостатки этого механизма заключаются, однако, в том, что сложно указать процессы, которые могли бы приводить к сравнительно долгому существованию в трещине электропроводящих металлов и их дейтеридов сильных электрических полей (10^7 В/см), как это имеет место в диэлектриках [1,2,4]. В этой связи более привлекателен микрокумулятивный, или “кавитационный”, механизм, который будет обсуждаться ниже исходя из экспериментальных данных, полученных при изучении кавитационного воздействия на дейтерийсодержащие среды.

Известно, что в процессе инципирования кавитации в жидкой среде при образовании и схлопывании кавитационных пузырей могут возникать различные электрические эффекты, во многом схожие с процессами, имеющими место при трещинообразовании в диэлектриках. На это указывают свечение в видимой области спектра, радиоизлучение, а также рентгеновские кванты [13,14], обнаруживаемые при кавитации в воде. Эти данные свидетельствуют о возникновении в процессе кавитации сильных электрических полей, аналогичных полям, возникающим в трещине диэлектрических кристаллов $10^6 - 10^7$ В/см [15]. Наличие таких полей в процессе кавитации в D_2O дает основания в свою очередь предположить и наличие дейтеронов, ускоренных до энергий 1-10 кэВ.

Если это действительно имеет место, то можно попытаться проверить несколько возможных вариантов осуществления DD -реакций в процессе кавитации в D_2O [16].

1. Возникновение условий для генерации нейтронов непосредственно при образовании — схлопывании кавитационных пузырей в D_2O . Например, сжатие дейтерия, образующегося при разложении D_2O , в полости кавитационных пузырей.

2. Генерация нейтронов в процессе кавитационной эрозии металлов и сплавов в D_2O , т.е. при схлопывании кавитационных пузырьков на металлической поверхности с образованием микрокумулятивных струй [13].

3. Генерация нейтронов при кавитационном воздействии на дейтериды металлов.

С целью проверки выдвинутых предположений были осуществлены эксперименты по регистрации нейтронов в процессе ультразвуковой кавитации в D_2O в присутствии титана и интерметаллида $LaNi_5$, а также их дейтеридов.

Экспериментальная техника

На рис. 1 представлена схема установки для осуществления кавитации в дейтерийсодержащих средах с регистрацией нейтронов. В работе использовался набор магнитострикционных вибраторов, выполненных из титана коммерческой чистоты. Вибраторы через коаксиальный волновод подключались к ультразвуковому генератору с рабочей частотой 22 кГц. Вибратор длиной 100 мм с площадью оснований 2 см^2 погружался в охлаждаемый цилиндрический сосуд с D_2O на глубину 20 мм. Высота столба жидкости в сосуде диаметром 50 см составляла ~ 80 мм. В процессе работы вибратора смещение его торца составляло ~ 15 мкм, так что реализуемая плотность мощности кавитационного воздействия была $\sim 1\text{ вТ/см}^2$. Температура жидкости в сосуде составляла $30 \pm 10^\circ\text{C}$. Установление режима кавитации фиксировалось визуально по появлению кавитационных пузырьков. Этому процессу соответствовал резонансный режим ультразвукового генератора.

В работе использовался поликристаллический порошок интерметаллида $LaNi_5$ с удельной поверхностью $0.7\text{ м}^2/\text{г}$, а также порошок его дейтерида $LaNi_5D_{5.5}$. Эксперименты проводились в D_2O с чистотой 99.9%.

В контрольных экспериментах использовалась обычная вода H_2O , а также режимы работы Y_3 генератора, при которых не наблюдалось образования кавитационных пузырей в D_2O (расстройка резонансного контура).

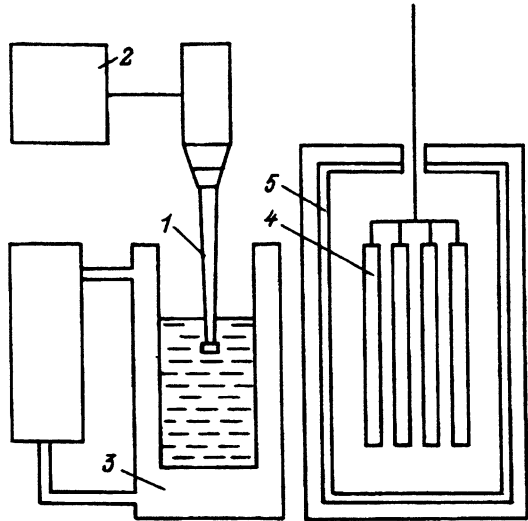


Рис. 1. Блок-схема установки для кавитации с регистрацией нейтронов. 1 — вибратор, 2 — уз-генератор, 3 — термостат, 4 — детектор нейтронов, 5 — бак с маслом.

Кроме того, конструкция используемого в кавитационных экспериментах сосуда предусматривала возможность напуска в него газообразного азота под давлением до 3 атм.

Регистрация нейтронов осуществлялась с помощью блока из 7 пропорциональных счетчиков медленных нейтронов NWI-62 на основе BF_3 , погруженных в замедлитель (очищенное вакуумное масло). Несмотря на более низкую эффективность борных счетчиков по сравнению со счетчиками, наполненными ^3He , они имеют более четкий амплитудный спектр, что весьма важно при регистрации слабых потоков нейтронов [17]. Сигнал со счетчиков усиливался предусилителем и поступал на многоканальный амплитудный анализатор (амплитудная дискриминация) и на запоминающий осциллограф для контроля формы и длительности импульсов.

Калибровка счетчиков осуществлялась в помощь Po-Be источника нейтронов интенсивностью 200 н/с, помещаемого на место сосуда с D_2O , имеющего энергетический максимум в районе 3 МэВ. Измерения с источником показали, что нейтронные импульсы, обладающие большой амплитудой, регистрируются в каналах анализатора с 12 по 32 (рис. 2, кривая 1). Эта амплитуда отвечает энергии реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)\text{Li}^7$, протекающей в счетчиках при поглощении тепловых нейтронов.

Следует отметить, что используемые счетчики не восприимчивы к γ -излучению с энергией меньше 2.31 МэВ, а γ -излучение с большей энергией надежно дискриминируется в низкоамплитудные каналы анализатора. С целью уменьшения естественного нейтронного фона блок счетчиков, находящийся в стальной банке, покрывался кадмиевой фольгой толщиной 1 мм. Это приводило к двукратному уменьшению фона до значения ~ 0.04 н/с. Кроме того, в специальных экспериментах использовалась пассивная защита из полиэтиленовых блоков толщиной 70 мм, внутри которой помещались детектор и экспериментальная установка. Это позволяло снизить значение фона еще в 4 раза до величины 0.01 н/с. Во избежание ошибок, связанных с флуктуациями нейтронного фона, эксперименты проводились в ясную погоду, в отсутствие колебаний атмо-

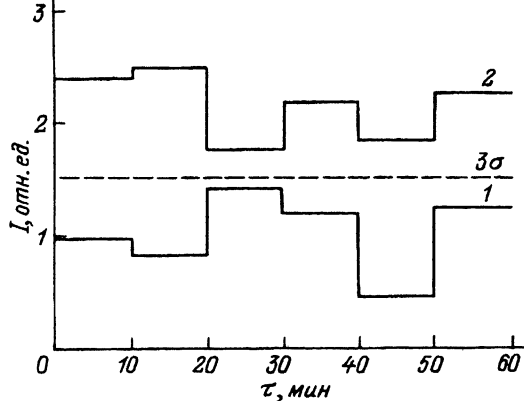


Рис. 2. Кинетика эмиссии нейтронов с титанового вибратора на второй (1) и на 21-й час кавитации (2).

сферного давления ($p \approx 760$ мм рт. ст.), грозы [18], при постоянной относительной влажности $\sim 50\%$, а также в отсутствие близкорасположенных ускорителей заряженных частиц. Стены в помещении, где проводились измерения, были деревянными.

Во избежание скопления радиоактивных газов (в том числе радона [19]) вблизи детектора работа осуществлялась при постоянно включенной вытяжной вентиляции.

Для уменьшения влияния электромагнитных наводок по сети блок счетчиков и вся измерительная аппаратура имели отдельный контур заземления, не включенный в общую распределительную сеть.

На основании проведенной калибровки детектора была определена его эффективность, которая с учетом геометрии измерений на расстоянии 5 см от детектора составила $1.5 \pm 0.5\%$.

Знание эффективности детектора позволяет оценить его чувствительность к нейтронам, которая принимается равной двум стандартным отклонениям (2σ) выше уровня фона, измеренного за большие промежутки времени [20],

$$n_D = 2\sqrt{\frac{N_b}{E^2\tau}}, \quad (1)$$

где N_b — уровень фона, E — эффективность детектора нейтронов, τ — время экспозиции, откуда превышение над естественным фоном L (число стандартных отклонений выше уровня фона) определится как

$$L = \frac{\bar{N} - N_b}{(N_b/\tau)^{1/2}}, \quad (2)$$

где \bar{N} — значение эффекта усредненного по суммарному времени регистрации τ .

Измерения фона осуществлялись постоянно перед началом экспериментов, после их окончания и в промежутках между ними при удалении вибратора и сосуда с D_2O на большое расстояние от детектора. Значительных флуктуаций фона, превышающих $2 - 3\sigma$, нами обнаружено не было.

Регистрация нейтронов в процессе проведения экспериментов осуществлялась по следующей схеме: 1 — в течение 10 мин в кавитационном

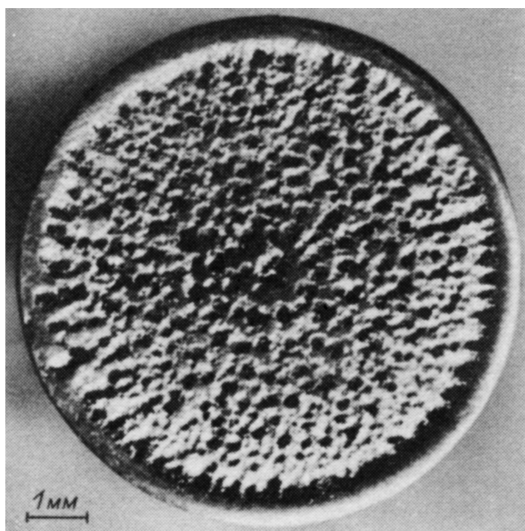


Рис. 3. Вибрация эрозии вибратора.

режиме, 2 — в течение 10 мин после выключения кавитации (постэффект), далее 1 и т.д.

Результаты и обсуждение

Эксперименты показали, что в процессе кавитации на свежих титановых вибраторах в обычной H_2O , а также в D_2O не наблюдается эффекта, превышающего уровень достоверности измерений, определяемый по формуле (1). Отсутствует эффект и после выключения кавитации. Аналогичный результат имеет место в отсутствие режима кавитации, т.е. в отсутствие резонанса, когда не наблюдается кавитационных пузырьков. На рис. 2 (кривая 1) представлена гистограмма, отражающая нейтронный мониторинг в течение 2-го часа кавитации.

Из этих результатов следует, что по крайней мере на уровне чувствительности детектора ($n_D \approx 0.33$ н/с) при космическом фоне ~ 0.01 н/с не подтверждаются предположения 1 и 2 о возможности генерации нейтронов при схлопывании кавитационных пузырей как непосредственно в D_2O , так и на металлической поверхности вибратора.

В процессе “приработки” титанового вибратора после достижения суммарного времени кавитационного воздействия 18–20 ч в D_2O на поверхности его основания, погруженного в D_2O , появляются следы кавитационной эрозии (рис. 3). При этом на поверхности основания вибратора образуется пленка дейтерида титана состава TiD_x темного цвета. Гистограмма нейтронного мониторинга в течение 21 ч кавитации представлена на рис. 2 (кривая 2). Космический фон ~ 0.01 н/с. Как видно из этого рисунка, счет нейтронов в процессе кавитации на приработанном вибраторе значительно превосходит естественный фон. В чистых экспериментах, выполненных в аналогичном режиме в H_2O , подобный эффект не наблюдается. При расстройке резонансного режима, т.е. в отсутствие кавитационных пузырьков, эффект исчезает. На рис. 4 представлены гистограммы распределения нейтронных импульсов по каналам амплитудного анализатора (детектор без пассивной защиты из полиэтилена). Из

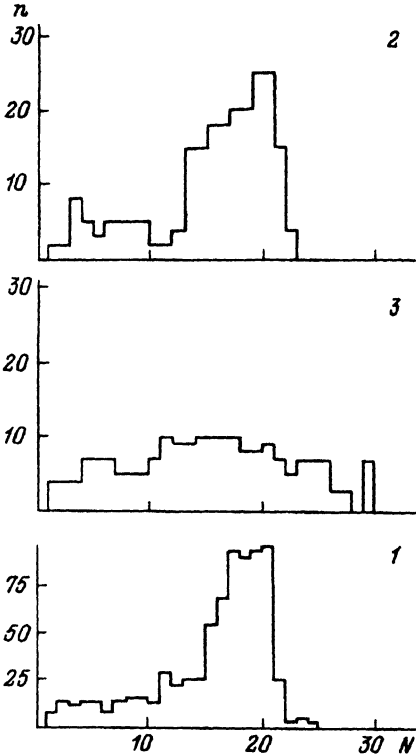


Рис. 4. Гистограмма распределения импульсов по каналам анализатора от источника нейтронов (1) при кавитации, осуществляемой вибратором с надейтерированной поверхностью (2) и от вибратора, погруженного в D_2O в отсутствие режима кавитации (3).

рис. 4 видно, что амплитудный спектр нейтронов от “приработанного” в D_2O вибратора (кривая 2) хорошо соответствует амплитудному спектру $Po-Be$ источника (кривая 1). В то время как амплитудный спектр, полученный от того же вибратора в отсутствие режима кавитации (кривая 3), представляет собой амплитудный спектр естественного космического фона. Количественные данные по измерениям нейтронов представлены в таблице, где “приработанный” в D_2O вибратор обозначен как TiD_x . Как следует из таблицы, в отсутствие пассивной защиты за 2 ч измерений эффект составил $\sim 4\sigma$. При использовании пассивной защиты из полиэтилена за те же 2 ч экспозиции величина эффекта составила $\sim 9\sigma$, что свидетельствует о его воспроизводимости при уменьшении фона в 4 раза. Одновременно обращает на себя внимание практически полное отсутствие счета нейтронов в постэффекте, не превосходящее уровня 2σ , как с использованием пассивной защиты, так и без нее (только с Cd).

Таким образом, предположение 3, выдвинутое выше, оказалось верным, поскольку эмиссия нейтронов наблюдается при кавитации на титановом вибраторе со следами кавитационной эрозии, т.е. покрытом пленкой TiD_x . Убедительным доводом в пользу этого предположения являются, на наш взгляд, также эксперименты с подачей в сосуд с D_2O азота под давлением. При достижении давления азота ~ 1 атм эффект исчезает полностью. Это достаточно убедительно свидетельствует о том, что наблюдаемый эффект целиком обязан образованию в D_2O кавитационных пузырей, содержащих дейтерий и взаимодействующих с вибратором. Поскольку при наличии газовых включений в D_2O кавитация будет осуще-

Интенсивность эмиссии нейтронов при кавитационном воздействии

Параметр эмиссии	Ti + D ₂ O		LaNi ₅ + D ₂ O		LaNi ₅ D _x + D ₂ O	
	Кавитация	Постэф-фekt	Кавитация	Постэф-фekt	Кавитация	Постэф-фekt
Без пассивной защиты (фон $n_c = 0.04$ м/с)						
\bar{N} , н/с	0.050	0.043	0.042	0.051	0.051	0.043
n_D , н/с	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
N , н/с	0.90	0.40	0.20	1.10	1.16	0.30
L , σ	4	2	1	5	5	1.5
С пассивной защитой (фон $n_c = 0.01$)						
\bar{N} , н/с	0.021	0.012	0.013	0.022	0.025	0.011
n_D , н/с	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
N , н/с	1.1	0.2	0.3	1.2	1.5	0.1
L , σ	9	2	3	10	12	1

ствляться исключительно на них [13], то генерация нейтронов становится невозможной.

В следующей серии экспериментов была осуществлена попытка иницирования DD -реакций на порошке интерметаллида $LaNi_5$ с использованием свежего титанового вибратора, не генерирующего нейтроны. Это объяснялось тем, что, с одной стороны, увеличивалась общая поверхность, на которой могло идти взаимодействие с кавитационными пузырьками. С другой стороны, интерметаллид $LaNi_5$ характеризуется гораздо более высокой скоростью растворения водорода (D), чем Ti, и поэтому можно было ожидать более быстрого образования дейтеридов на поверхности частиц $LaNi_5$. Эксперименты показали, однако, что в процессе проведения кавитации в суспензии порошка чистого $LaNi_5$ в D_2O достоверного эффекта не наблюдается, даже при низком естественном фоне (см. таблицу). Однако в постэффekte после остановки кавитации регистрируется счет нейтронов, превышающий с использованием пассивной защиты из полиэтилена 10σ . Контрольные эксперименты, проведенные в H_2O , а также в отсутствие режима кавитации в D_2O , не обнаруживают достоверного эффекта. Измерения удельной поверхности порошка $LaNi_5$ после 2 ч кавитационного воздействия показали, что она развивается очень слабо (увеличение от 0.7 до $0.9\text{ м}^2/\text{г}$). Ситуация кардинально меняется в третьей серии экспериментов, в которой в присутствии свежего титанового вибратора использовали порошок мелкодисперсного дейтерида $LaNi_5D_{5.5}$. В этом случае зарегистрирован максимальный эффект, превышающий 12σ в процессе кавитации (см. таблицу). Через 2 ч наблюдается некоторое истощение эффекта. Добавление в систему дополнительно 0.5–1 г свежего порошка $LaNi_5D_{5.5}$ приводит к повторному увеличению интенсивности счета нейтронов. В контрольных экспериментах, как и для предыдущих случаев, достоверного эффекта не зафиксировано. При подаче в сосуд с D_2O в процессе проведения кавитации азота под давлением 1 атм эффект исчезает полностью, что также свидетельствует о решающей роли дейтерия, накапливающегося в кавитационных пузырьках, для генерации нейтронов.

Измерения величины удельной поверхности $S_{уд}$ порошка $\text{LaNi}_5\text{D}_{5.5}$ до и после проведения эксперимента по кавитации с ним (2 ч) показали, что $S_{уд}$ не только не развивается, а, наоборот, происходит ее уменьшение от 6.8 до 3.1 м²/г. Это означает, что в данном процессе не происходит разрушения частиц $\text{LaNi}_5\text{D}_{5.5}$, а имеет место их агрегация, что, по-видимому, и объясняет наблюдаемое истощение эмиссии нейтронов в процессе кавитации. Обращает на себя внимание также и отсутствие постэффекта для суспензии $\text{LaNi}_5\text{D}_{5.5}$ в D_2O (см. таблицу).

Таким образом, получены, на наш взгляд, достаточно убедительные доказательства того, что при кавитационном воздействии на дейтериды ряда переходных металлов может наблюдаться аномальная эмиссия нейтронов, связанная с протеканием DD -реакций в их приповерхностном слое. При этом обращает на себя внимание достаточно хорошая воспроизводимость результатов по эмиссии нейтронов для кавитации (80-90%) в присутствии дейтеридов металлов. Интенсивность нескорелированного счета нейтронов и превышение эффекта над фоном (4-12 σ) близки по абсолютным значениям к результатам, полученным при электролизе в D_2O на Ti и насыщении титана дейтерием из газовой фазы [5-9].

Представляется весьма вероятным, что протекание DD -реакций с испусканием нейтронов может быть обусловлено инъекцией ускоренных дейтронов из схлопывающихся кавитационных пузырьков на поверхность дейтерированных образцов. Поскольку давление внутри кавитационных пузырей достигает значений 10⁵ - 10⁶ атм [13,14], то на острие кумулятивной струи, взаимодействующем с поверхностью дейтерида, энергия дейтронов может достигать 1-10 кэВ. При таких энергиях дейтронов, взаимодействующих с дейтронами, находящимися на поверхности образцов дейтеридов, может наблюдаться выход нейтронов, близкий к измеряемому нами экспериментально.

Что же касается постэффекта, наблюдаемого на порошках LaNi_5 , то его проявление может быть связано с высокой каталитической активностью поверхности интерметаллидов, в частности LaNi_5 , и релаксацией механических напряжений в приповерхностных слоях его частиц. Для выяснения этого вопроса нами дополнительно была проделана следующая серия экспериментов. Массивные образцы поликристаллического LaNi_5 с площадью поверхности ~ 4 см² подвергались механической обработке (шлифовке на полированном круге) и затем на них наносилось ~ 1 мл D_2O . При этом наблюдалась эмиссия нейтронов, превышающая 5 σ над уровнем фона (0.01 н/с), затухающая в течение 5-10 мин. Повторная сошлифовка поверхности и нанесение D_2O давали аналогичные результаты. При нанесении на шлифованную поверхность лишь обычной H_2O данный эффект не наблюдался.

Результаты этих экспериментов позволяют предположить, что в условиях существования остаточных механических напряжений происходит разложение D_2O на поверхности LaNi_5 и проникновение образовавшегося дейтерия в приповерхностный слой образца в местах выхода на поверхность скоплений точечных дефектов и дислокаций, служащих стоками дейтерия. При создании в приповерхностном слое областей, пересыщенных дейтерием, в них, по-видимому, могут создаваться условия для протекания DD -реакций с выходом нейтронов, аналогичные условиям, создаваемым в кавитационных пузырьках жидкости. Отметим, что аналогичный постэффект наблюдался нами ранее в системе Ti-D после

прекращения механического воздействия на нее [3]. Вместе с тем отсутствие постэффекта на дейтерированных образцах Ti и LaNi₅ не может пока быть удовлетворительно объяснено. Не исключено, однако, что после остановки кавитационного воздействия они очень быстро релаксируют в равновесное состояние, а также подвергаются быстрому окислению в среде D₂O.

Заключение

Полученные в работе данные могут быть использованы с точки зрения интерпретации механизма генерации нейтронов при проведении электролиза на титановых и палладиевых электродах в [5,6,10]. Поскольку в процессе электролиза при достаточно высоких плотностях тока наблюдается образование кавитационных пузырей [11], то не исключено, что их взаимодействие с поверхностью электродов, покрытых слоем дейтерида, может вносить значительный вклад в наблюдаемую экспериментально аномальную эмиссию нейтронов. О сходстве обоих процессов свидетельствуют также их нестационарный характер и затянутость во времени, т.е. наличие определенного промежутка времени, в течение которого образуется слой дейтерида, а эмиссия нейтронов не наблюдается [5,6].

В заключение мы укажем на возможность интерпретации механизма “холодного синтеза” с помощью кавитационной (или микрокумулятивной) модели. В данном подходе вне зависимости от способа дейтерирования металла при диффундировании дейтерия через стоки на поверхности металла должно происходить заполнение вакансионных пустот. Если эти пустоты сферически симметричны (например, вакансионные атмосферы Котрелла вблизи дислокаций), то давление дейтерия в них может достигать $\sim 10^6$ атм [20,21], т.е. быть равным по порядку величины давлению в кавитационных пузырях. При последующем разрушении металлической стенки может произойти образование микрокумулятивной струи. При этом энергия дейтронов в ее острие будет достигать 10 кэВ [22]. При бомбардировке такими дейтронами дейтерированной решетки образца могли бы протекать *DD*-реакции. В этом случае эмиссия нейтронов будет аналогична наблюдаемой при кавитации в D₂O на поверхностях дейтерированных металлов. Кроме того, протеканию этого процесса будут сопутствовать импульсы акустической эмиссии, которые появляются при разрушении решетки и регистрируются экспериментально в корреляционных экспериментах [9–12].

Отметим, что описанный выше процесс не требует привлечения представлений о наличии долгоживущего заряда на стенках трещины в дейтеридах металлов. Поэтому предложенная модель применима к системам с любым сколь угодно высоким значением электропроводности. Вместе с тем из вышеприведенных рассуждений следует, что наличие воспроизводимых результатов по регистрации ядерных излучений в экспериментах по “холодному синтезу” должно сильно зависеть от условий подготовки образцов: отжига, радиационных воздействий и т.п.

- [1] *Клюев В.А., Липсон А.Г., Топоров Ю.П.* и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 22. С. 1333-1336.
- [2] *Derjaquin B. V., Lipson A. G., Kluev V. A.* et al. // Nature. 1989. Vol. 341. P. 492.
- [3] *Derjaquin B. V., Kluev V. A., Lipson A. G., Toporov Yu. P.* // Physica B. 1990. Vol. 167. P. 189-193.
- [4] *Липсон А.Г., Саков Д.М., Клюев В.А.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. Вып. 2. С. 588-590.
- [5] *Jones S.E., Palmer E.P., Czirr J.B.* et al. // Nature. 1989. Vol. 338. P. 737-739.
- [6] *Bertin A., Bruschi M., Capponi M.* et al. // II. Nuovo Cimento. 1989. Vol. 101A. P. 997-1001.
- [7] *De Nino A., Frattolillo A., Lollobatista G.* et al. // Europhys. Lett. 1989. Vol. 9. P. 221-224.
- [8] *Menlove H.O., Fowler M.M., Garcia E.* et al. // Los Alamos National Lab. Preprints. LA-UR89-1974; LA-UR89-3633.
- [9] *Jones S.E.* // Proc. Riken Conf. on Muoncatalized and Cold Fusion. Tokyo, 1989. P. 9-11.
- [10] *Голубничий П.И., Кузьминов В.В., Мерзон Г.И.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 1991. Т. 53. Вып. 2. С. 115-118.
- [11] *Xingzhog Li., Shiyuan Dong, Kelo Wang* et al. // Abstracts of Int. Workshop Anomalous Nuclear effects in deuterium / solid systems. Provo, Utah (USA), 1990. P. 36-37.
- [12] *Taniguchi R., Yamamoto T.* // Ibid. P. 53-54.
- [13] *Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф.* Кавитация. М.: Мир, 1974. 687 с.
- [14] *Голубничий П.И., Беляева Т.М., Олаоев К.Ф.* // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 13. Вып. 2. С. 81-83.
- [15] *Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П.* Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 474 с.
- [16] *Липсон А.Г., Клюев В.А., Дерягин Б.В.* и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 13. Вып. 19. С. 81-83.
- [17] *Knoll G.F.* Radiation Detection and Measurements. New York: John Willey and Sons, 1979.
- [18] *Shah G.N., Razdan H., Bhat C.L., Ali G.M.* // Nature. 1985. Vol. 313. P. 773-775.
- [19] *Criber M., Spiro M., Favier T.* // Phys. Lett. B. 1989. Vol. 228. P. 163-166.
- [20] *McCracken G.M., Croff S., Gibson A.* et al. // Preprint CLM-P864. Culham Lab. AEA. Technology. 1989.
- [21] Водород в металлах / Под ред. Г.Альфельда, И.Фелькеля. М.: Мир, 1981.
- [22] *Высоцкий В.И., Кузьмин Р.Н.* Тез. докл. рабочего семинара "Реакции ядерного синтеза в конденсированных средах". Дубна, 1990. С. 50-51.

Институт физической химии
Москва

Поступило в Редакцию
21 ноября 1991 г.