

- [4] Грицинин С.И., Косыи И.А., Силаков В.П., Тарасова Н.М., Теплофизика высоких температур. 1984. Т. 22. С. 672-678.
- [5] Бондарь Ю.Ф., Гомонько А.А., Грудницкий В.Г. и др. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 5. С. 884-893.

Московский радиотехнический институт АН СССР

Поступило в Редакцию
5 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 19

12 октября 1990 г.

01

© 1990

О ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ХОЛОДНОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

В.А. Ф и л и м о н о в

Год, прошедший после опубликования работы Флейшмана и Понса [1], не принес решения проблемы „холодного“ синтеза ядер дейтерия. Первая отрицательная реакция на сообщение [1] была обусловлена тем, что вероятность P_d получения дейтоном энергии E_d , достаточной для туннелирования через кулоновский барьер отталкивания ядер с заметной скоростью (рис. 1, а), определяемая выражением

$$P_d = e^{-\frac{E_d}{kT}}; \quad (\Delta E \doteq E_d, \text{ т.к. } E_d \gg kT), \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура; при температурах ~ 300 К исчезающе мала. И все же сообщения о более или менее успешном воспроизведении ХЯС продолжают появляться [2-4 и др.] среди множества работ, в которых эффект не обнаружен или сомнителен. Для объяснения холодного ядерного синтеза (ХЯС) предложен ряд гипотез, которые мы условно разделим на две группы. В первых [5-10] предполагается, что в процессах дейтерирования палладия или титана образуются те или иные протяженные дефекты структуры – дислокации, трещины, каверны, дендриты и т.п., на поверхности которых возникают импульсные электрические поля высокой напряженности, способные разогнать дейтон до энергий, значительно повышающих вероятность преодоления кулоновского барьера (рис. 1, б). Вероятность реализации вспомогательного процесса P_* авторы работ [5-10] не определяют, тогда как из выражения (1) и рисунка ясно, что уровень энергии E_* статистически почти так же недостижим, как и E_d .

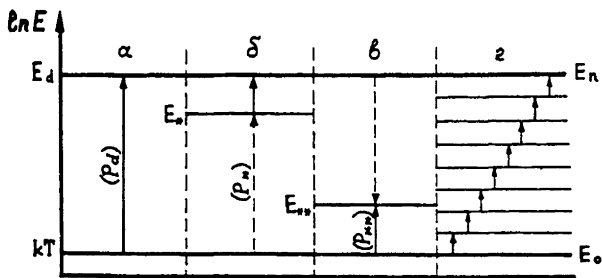


Рис. 1. Схема энергетических уровней дейтерия и возбуждений, приводящих к ХЯС.

Здесь P_d , P_* , P_{**} – вероятности возбуждения в классическом представлении, в представлении авторов работ [5–10] и авторов работ [11–22] соответственно. Остальные пояснения в тексте.

Во второй группе гипотез [11–22] авторы рассматривают различные взаимодействия в твердом теле или ионизированной плазме дейтерия, способные снизить высоту потенциального барьера (рис. 1, в), но расчеты и оценки самих авторов показывают, что их предположения не могут количественно объяснить наблюдавшиеся в ряде работ интенсивности процессов ХЯС без дополнительных допущений.

В этой связи нами предлагается в самом общем виде еще одна гипотеза ХЯС, которую мы назовем „синергетической“. Представим себе, что энергетическая щель между E_0 и E_d содержит $n-1$ промежуточных уровней энергии, расположенных таким образом, что (рис. 1, г)

$$\ln \frac{E_i}{E_{i-1}} = \frac{1}{n} \ln \frac{E_n}{E_0} = \ln(\alpha+1), \quad (2)$$

где $i=1\dots n$, $E_n = E_d$, $E_0 = kT$; $\alpha \equiv (E_i - E_{i-1})/E_{i-1}$. Изменит ли это вероятность достижения дейтоном верхнего энергетического уровня E_d ? В условиях равновесного Максвелл-Больцмановского распределения – нет.

Однако, ситуация меняется коренным образом, если на каждом из промежуточных уровней E_i атомы дейтерия образуют физически компактную подсистему, в которой они могут взаимодействовать друг с другом, но отделены от атомов дейтерия, находящегося на других уровнях, в том числе и на основном E_0 . Это возможно, если система далека от термодинамического равновесия и в ней осуществляется интенсивный массоперенос с самоорганизацией вещества и образованием диссипативных структур [23]. Поскольку атомы дейтерия в различных по энергии состояниях возбуждения должны отличаться и по физическим параметрам – объему, электронной плотности и т.д., – в процессах самоорганизации

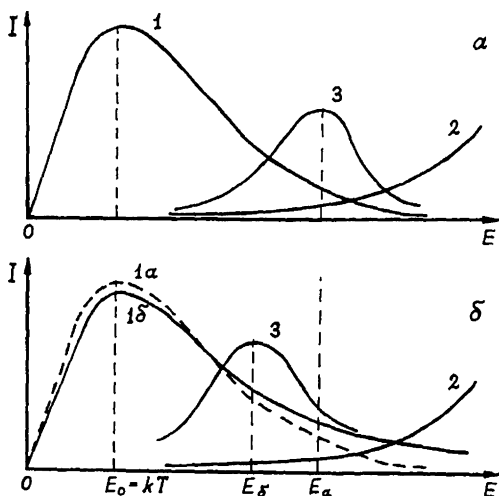


Рис. 2. Распределение атомов дейтерия по энергиям, сечение ядерной реакции синтеза и выход реакции.

а) „классический“ вариант; б) „синергетический“ вариант; 1 - $P(E)$; 2 - $\sigma(E)$; 3 - $J(E)$; 1 - интенсивность свойства (усл. ед.); E - энергия (усл. ед.).

возможна их сепарация, подобно тому, как это происходит с компонентами сплавов и химических соединений [24]. В результате этого в каждой подсистеме будет устанавливаться собственное распределение атомов по энергиям, и вероятность перехода с предыдущего $i-1$ -го на последующий i -ый уровень будет определяться выражением

$$P_i = e^{-\frac{E_i - E_{i-1}}{E_i - 1}} = e^{-\alpha}, \quad (3)$$

Доля атомов дейтерия из числа находящихся на i -том уровне, принимающих участие в образовании i -той подсистемы, зависит от двух обстоятельств: а) - интенсивности процессов самоорганизации, коррелирующей с плотностью потоков массопереноса; б) - эффективности процессов сепарации. Обозначим вклад этих обстоятельств коэффициентами a_i , b_i соответственно и примем, что

$$0 < a_i, b_i \leq 1, \quad (4)$$

что вполне естественно. Тогда при максимальных значениях a_i, b_i получим для вероятности достижения отдельным атомом дейтерия верхнего уровня энергии E_n

$$P_n = \prod_{i=1}^n P_i = \prod_{i=1}^n a_i b_i e^{-\frac{E_i - E_{i-1}}{E_{i-1}}} = e^{-nd} \cdot \prod_{i=1}^n a_i b_i = e^{-nd} \gg P_d \text{ при } \cdot \quad (5)$$

при $n, \alpha \geq 2$.

Рассмотрим рис. 2, на котором схематически показано распределение дейтронов по энергиям $P(E)$, сечение ядерной реакции синтеза $\mathcal{G}(E)$ и их произведение - выход реакции $J(E)$ [25] в расчете на один дейтрон, а также влияние на эти характеристики синергических процессов. Как видно, самоорганизация не влияет на $\mathcal{G}(E)$, но уменьшает крутизну спада $P(E)$ и тем самым увеличивает $J(E)$ и смещает его максимум в область более низких энергий.

Таким образом, для протекания реакции синтеза ядер дейтерия при обычных температурах со скоростью, существенно отличной от нуля, достаточно выполнения двух условий:

1. В системе, содержащей дейтерий, протекают процессы самоорганизации вещества.
2. Система содержит ряд энергетических уровней, удовлетворяющих соотношению (2).

Последовательность процессов самоорганизации, протекающих, по нашему мнению, при электрохимическом или ином способе насыщения дейтерием палладия (титана), вкратце такова: образование солитонов - ударных волн разрежения (УВР) - дискриминация направлений распространения УВР - сдвиговые течения на флангах УВР - фокусировка УВР при отражении и преломлении их границами фаз и кристаллитов.

Обсуждение физической природы возбужденных состояний, а также расчет интенсивностей ХЯС применительно к реальной системе PdD_x мы предполагаем проделать в дальнейшем.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Fleischmann M., Pons S., Hawkins M.J. // *Electroanal. Chem.*, 1989. V. 261. N 5. P. 301-308 + errata.
- [2] De Ninno A., Frattolino A., Lollobattista G. et al. // *Europhysics Lett.* 1989. V. 9. N 3. P. 221-224.
- [3] Ярославский М.А. // *Докл. АН СССР*. 1989. Т. 307, № 2. С. 369-370; № 3. С. 600-601.
- [4] Wada N., Nishizawa K. // *Japanese J. of Appl. Phys.* 1989. V. 28. N 11. P. L2017-L2020.
- [5] Голубничий П.И., Куракин В.А., Филоненко А.Д. и др. // *Докл. АН СССР*, 3071989. Т. 307. № 1. С. 99-101.

- [6] Ярославский М.А. // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 1. С. 95-97.
- [7] Mizuno T.J. // Surface Sci. Soc. Japan (Хэмэн Кагаку). 1989. V. 10. N 9. P. 602-605.
- [8] Cohen J., Davies J. // Nature. 1989. V. 342. P. 487-488.
- [9] Lin G., Kainthla R., Paskham N., Bockris J.O'M. // J. Electroanal. Chem. 1990. V. 280. N 1. P. 207-211.
- [10] Segre S., Atzeni S., Briguglio S., Romanelli F. // Europhysics Lett. 1990. V. 11. N 3. P. 201-206.
- [11] Высоцкий В.И., Кузьмин Р.Н. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7, № 16. С. 981-985.
- [12] Walling Ch., Simons J. // J. of Phys. Chemistry. 1989. V. 93. N 12. P. 4693-4698.
- [13] Konin S., Nauenberg M. // Nature. 1989. V. 339. P. 690-691.
- [14] Yan X., Tsai Sh., Guo SH., Zhang Zh. // Chinese Phys. Lett. 1989. V. 6. N 8. P. 343-346.
- [15] Cottingham W., Greenwood D. // J. of Phys. G: Nucl. Part. Phys. 1989. V. 15. N 8. P. L157-L161.
- [16] Petrillo C., Sacchetti F. // Europhysics Lett. 1989. V. 10. N 1. P. 15-18.
- [17] Henis Z., Eliezer S., Ziegler A. // J. of Phys. G: Nucl. Part. Phys. 1989. V. 15. N 10. P. L219-L223.
- [18] Hargittai C. // J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett. 1989. V. 137. N 1. P. 17-22.
- [19] Shaw G., Chin M., Bland R. et al. // Il Nuovo Cimento Soc. Ital. Fis. 1989. V. 102A. N 5. P. 1441-1447.
- [20] Crowley B. // Nuclear Fusion. 1989. V. 29. N 12. P. 2199-2216.
- [21] Vaidya S., Maurya Y. // Japanese J. of Appl. Phys. 1989. V. 28. N 12. P. L2258-L2260.
- [22] Rabinowitz M. // Modern Phys. Lett. B. 1990. V. 4. N 4. P. 233-247.
- [23] Полак Л.С., Михайлов А.С. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Наука, 1983. 285 с.
- [24] Дремин А.Н., Бреусов О.Н. // Успехи химии. 1968. Т. 37, № 5. С. 898-916.
- [25] Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М.: Атомиздат, 1983. Т. 1. 616 с.