

© 1992 г.

ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ: ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ И ПУТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В. А. Филлимонов

Может ли, и если да, то в какой степени, самоорганизация вещества в неравновесной системе металл—дейтерий, гипотетическая последовательность стадий которой описана нами ранее [1], изменять вероятность достижения дейтоном величин энергии, достаточных для подбарьерного туннелирования и ХЯС (холодного ядерного синтеза)?

В [2] нами показано, что при наличии в системе $n-1$ промежуточных уровней энергии, удовлетворяющих соотношению

$$\frac{E_l - E_{l-1}}{E_{l-1}} = \alpha, \quad l = 1 \dots n, \quad (1)$$

самоорганизация приводит к изменению закона, описывающего вероятность достижения P_n дейтоном уровня энергии E_n , по сравнению с классическим больцмановским выражением для вероятности P_d

$$P_n = \prod_{l=1}^n P_l = e^{-n \left(\frac{E_l - E_{l-1}}{E_{l-1}} \right)} \gg P_d = e^{-\frac{E_d}{kT}} \quad (2)$$

или

$$P_n = e^{-n\alpha} \gg P_d = e^{-(\alpha+1)n}, \quad (3)$$

где $E_n = E_d$, $E_0 = kT$, $\alpha+1 = E_l/E_{l-1}$, поскольку в такой неравновесной стационарной системе вероятность достижения конечного состояния равна произведению вероятностей стадий. Выражения (2), (3) справедливы в случае, если а) процесс самоорганизации охватывает весь объем системы, т.е. интенсивность самоорганизации достаточно велика; б) на каждой стадии самоорганизации происходит эффективное разделение атомов по их энергиям (сепарация).

Расположение энергетических уровней в реальной системе, конечно, отличается от упрощенного представления (1). Вспомним [1], что перемещение дейтериевого солитона происходит когерентно с палладиевым антисолитоном, а ударной волны сжатия дейтерия — с ударной волной разрежения подрешетки палладия. При прохождении антисолитонов и УВР атомы палладия смещаются из своих равновесных положений на расстояния, превышающие амплитуду тепловых колебаний [3]. Можно предположить, что при этом задействуется система колебательных уровней атомов Pd, представляющая собой совокупность равноотстоящих

уровней энергии с зазором $\Delta E = h\nu_D = k\theta_D$, где h — постоянная Планка, ν_D — дебаевская частота, θ_D — дебаевская температура [4]. ν_D для Pd составляет $0.6 \cdot 10^{13}$ Гц, $\theta_D = 274$ К. Поскольку разрушение солитона в системе D/Pd означает выделение зародыша фазы дейтерида [1], т.е. фазовый переход, то при прохождении солитона атомы Pd могут возбуждаться до энергетического уровня, не превышающего энтальпии плавления решетки палладия, — 0.16 эВ/атом. При прохождении УВР могут реализовываться состояния, включающие весь спектр колебательных энергий вплоть до 4.06 эВ/атом — энтальпии сублимации решетки Pd. Тогда вероятность P_m возбуждения атома Pd до верхнего колебательного уровня при температуре $T = \theta_D$ составит

$$P_m = \prod_{l=1}^m P_l = \prod_{l=1}^m e^{-\left(\frac{E_l - E_{l-1}}{E_{l-1}}\right)} = \prod_{l=1}^m e^{-\left(\frac{k\theta_D}{l k\theta_D}\right)} = e^{-\sum_{l=1}^m \left(\frac{1}{l}\right)} = e^{-\sum_{l=1}^m l^{-1}}, \quad (4)$$

где $m = \Delta H_{\text{субл}} / k\theta_D$ — число колебательных уровней.

В нашем случае $m = 160$ и $P_m = 6.2 \cdot 10^{-3}$, что значительно превышает вероятность возбуждения колебательных уровней осциллятора $P_{\text{осц}} = \exp(-\Delta H_{\text{субл}} / k\theta_D) = 1.6 \cdot 10^{-61}$.

На более высоких ступенях самоорганизации [1] в связи с возрастанием средней энергии на атом i -й подсистемы возможна, на наш взгляд, и ионизация валентных электронов атомов Pd, а также электронов более глубоких уровней. В таблице приведены энергии связей электронов внешнего 4d [5] и более глубоких [6] уровней и соответствующие вероятности возбуждения при самоорганизации P_l согласно формулам (2–4). Передача колебательного возбуждения от атома Pd атому D посредством соударений неэффективна вследствие большого различия масс [7]. Ионизированный же атом Pd будет рекомбинировать, испуская при этом квант электромагнитного излучения (УФ, рентгеновского, γ -излучений в зависимости от того, электрон какой оболочки был ионизирован), который может поглощаться атомом D тем чаще, чем больше атомное отношение D/Pd. Это отношение в ходе самоорганизации все возрастает: D/Pd \rightarrow 1. При энергии кванта E_ν , превышающей энергию связи E_c электрона в дейтерии (13.6 эВ), первая переходит в кинетическую энергию ядра дейтерия $E_{\text{кин}}$

$$E_{\text{кин}} = E_\nu - E_c, \quad (5)$$

следствием чего может быть слияние ядер дейтерия. Скорости движения дейтона v_l , сечения ядерного синтеза σ_l и интенсивность ХЯС J_l [8]

Параметры процесса холодного ядерного синтеза при
самоорганизации вещества в неравновесной системе D—Pd.

| i | E_1 , эВ | P_1 | σ_1 , см ² | v_1 , см·с ⁻¹ | J_1 , см ⁻³ ·с ⁻¹ |
|------|------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|---|
| 0 | 0.025 | 1.0 | 0* | 0 | 0 |
| m | 4.06 | $6.2 \cdot 10^{-3}$ | 0* | 0 | 0 |
| m+1 | 8.33 | $2.2 \cdot 10^{-3}$ | 0* | 0 | 0 |
| m+2 | 19.8 | $5.5 \cdot 10^{-4}$ | 0* | $3.5 \cdot 10^6$ | 0 |
| m+3 | 32 | $3.0 \cdot 10^{-4}$ | 0* | $6.0 \cdot 10^6$ | 0 |
| m+4 | 51 | $1.6 \cdot 10^{-4}$ | 0* | $8.5 \cdot 10^6$ | 0 |
| m+5 | 86 | $8.5 \cdot 10^{-5}$ | $7.6 \cdot 10^{-87}$ | $1.2 \cdot 10^7$ | $1.4 \cdot 10^{-43}$ |
| m+6 | 335 | $4.5 \cdot 10^{-6}$ | $4.3 \cdot 10^{-55}$ | $2.5 \cdot 10^7$ | $4.5 \cdot 10^{-14}$ |
| m+7 | 340 | $4.5 \cdot 10^{-6}$ | $7.5 \cdot 10^{-55}$ | $2.5 \cdot 10^7$ | $8.0 \cdot 10^{-14}$ |
| m+8 | 531 | $2.6 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-48}$ | $3.2 \cdot 10^7$ | $8.0 \cdot 10^{-8}$ |
| m+9 | 559 | $2.4 \cdot 10^{-6}$ | $8.3 \cdot 10^{-48}$ | $3.2 \cdot 10^7$ | $3.2 \cdot 10^{-7}$ |
| m+10 | 670 | $2.0 \cdot 10^{-6}$ | $1.2 \cdot 10^{-45}$ | $3.6 \cdot 10^7$ | $3.5 \cdot 10^{-5}$ |
| m+11 | 3173 | $4.8 \cdot 10^{-8}$ | $1.2 \cdot 10^{-33}$ | $7.8 \cdot 10^7$ | $4.5 \cdot 10^4$ |
| m+12 | 3331 | $4.5 \cdot 10^{-8}$ | $2.1 \cdot 10^{-33}$ | $8.0 \cdot 10^7$ | $7.1 \cdot 10^4$ |
| m+13 | 3605 | $4.2 \cdot 10^{-8}$ | $5.0 \cdot 10^{-33}$ | $8.3 \cdot 10^7$ | $1.5 \cdot 10^5$ |
| m+14 | 24350 | $1.3 \cdot 10^{-10}$ | $1.3 \cdot 10^{-27}$ | $2.2 \cdot 10^8$ | $9.7 \cdot 10^5$ |

$$J_{\text{сумм}} = 1.24 \cdot 10^6$$

* Менее 10^{-100} .

для энергий, соответствующих энергиям связи электронов в Pd, также приведены в таблице. Как можно подсчитать, суммарный выход процесса ХЯС может составить $\sim 1 \cdot 10^6$ первичных актов синтеза в 1 см³ за 1 с при среднем отношении D/Pd в системе, равном 0.3.

Интенсивность процесса ХЯС J приближается к величине, данной в таблице, при максимально возможных величинах градиента электрохимического потенциала дейтерия μ

$$J \sim (d\tilde{\mu}/dx)^\lambda, \quad (6)$$

где $\lambda > 1$.

Для достижения максимальной величины $d\tilde{\mu}/dx$ в эксперименте по электрохимическому дейтерированию палладия необходимо, на наш взгляд, а) снизить сопротивление границы электролит—Pd электрод переходу дейтерия с поверхности в объем Pd, для чего покрыть электрод палладиевой чернью; б) по возможности увеличить разность потенциалов разложения электролита, для чего использовать щелочные, а не кислые растворы; в) создать продольный градиент потенциала в Pd электроде, для чего погрузить его в раствор электролита частично, уравнив, таким образом, верхний конец электрода с газовой фазой. Ряд необходимых условий реализации ХЯС изложен нами ранее [1].

Решающим доводом в пользу развиваемой в [1,2] и настоящей работе модели явилось бы совпадение экспериментально наблюдаемых и расчетных

(см. таблицу) значений интенсивности ХЯС. Однако, если учесть, что расчет дает количество первичных актов синтеза, а возможна в принципе и цепная реакция ХЯС, интенсивность последней будет зависеть от геометрического фактора, а именно отношения объема образца $V_{об}$ к площади его поверхности $S_{об}$, и может многократно превышать величины, приведенные в таблице.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Филимонов В. А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 20. С. 29—34.
- [2] Филимонов В. А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 19. С. 42—46.
- [3] Вагнер Х. Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельд, И. Фелькль. М.: Мир, 1981. Т. I. 478 с.
- [4] Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969. 560 с.
- [5] Краткая химическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1964. Т. 3. 1112 с.
- [6] Зигбан К., Нордлинг К., Фальман А. и др. Электронная спектроскопия. М.: Мир, 1971. 496 с.
- [7] Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Атомиздат, 1966. 688 с.
- [8] Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика. М.: Энергоатомиздат, 1983. Т. I. 616 с.

Научно-исследовательский институт
физико-химических проблем
Белорусского университета им. В. И. Ленина
Минск

Поступило в Редакцию
21 августа 1990 г.
В окончательной редакции
5 июня 1992 г.