

ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ С ПАЛЛАДИЕМ И ГИДРИДОМ ПАЛЛАДИЯ

А.В. Антонов, В.Б. Гиноман, Л.Н. Жерихина, А.И. Исаков, С.П. Кузнецов,
И.В. Мешков, А.Д. Перекрестенко

На спектрометре очень холодных нейтронов в диапазоне скоростей нейтронов $2,5 \div 90$ м/с исследованы полные сечения взаимодействия нейтронов с Pd и PdH_x ($x = 0,008; 0,105; 0,26; 0,32; 0,51; 0,71$) при $T = 300$ и 80 К.

Для изучения системы металл – водород привлекаются различные методы нейтронной физики, использующие как тепловые (с энергией $E \lesssim 10^{-2}$ эВ), так и холодные (10^{-4} эВ $\lesssim E \lesssim 10^{-2}$ эВ) нейтроны. В данной работе впервые проведено исследование взаимодействия очень холодных нейтронов (ОХН, $E \lesssim 10^{-5}$ эВ) с Pd и PdH_x ($x = 0,008; 0,105; 0,26; 0,32; 0,51; 0,71$). Для этого по пропусканию пучка нейтронов через образец на спектрометре ОХН /1/ были измерены полные макроскопические сечения Σ_t взаимодействия нейтронов с Pd и PdH_x в зависимости от скорости нейтронов в веществе v /2/. Для измерений использовался один исходный образец чистого (99,99%) Pd толщиной 73,9 мкм, который после проведения измерений на нем был электрохимически насыщен водородом до концентрации $x = 0,71$. Концентрация определялась взвешиванием образца. Промежуточные концентрации были получены частичным удалением водорода из образца при температуре 300 °С в термостате.

Расчет сечений осуществлялся по формуле /2/:

$$\Sigma_t = - (1/d) \ln \left[\sqrt{(T^2/2\tau R^2)^2 + 1/R^2} - T^2/2\tau R^2 \right],$$

где d – толщина образца; τ – наблюдаемое пропускание нейтронов; T – коэффициент прохождения нейтронной волны через образец; R – коэффициент ее отражения от границы исследуемого вещества с вакуумом. Скорость нейтронов в веществе определялась как

$$v = \sqrt{v_z^2 - 4\pi\hbar^2 N (b_k^{\text{Pd}} + x b_k^{\text{H}}) / m^2}.$$

Здесь v_z – вертикальная составляющая скорости нейтронов после пролета шестиметровой пролетной базы спектрометра; \hbar – постоянная Планка, N – число атомов Pd в кубическом сантиметре; b_k^{Pd} и b_k^{H} – амплитуды когерентного рассеяния нейтронов ядрами соответственно Pd и H /3/; m – масса нейтронов. При насыщении металлов водородом их кристаллическая решетка "разбухает", а следовательно, меняются атомарная концентрация $N = N_0 / (1 + \delta)$ и толщина образца $d = d_0 \sqrt{1 + \delta}$, где N_0 и d_0 – атомарная концентрация и толщина исходного образца Pd; δ – относительное увеличение объема образца. В исследованном диапазоне изменения параметра x гидрид палладия является двухфазной системой. С учетом этого

$$\delta = [\delta_\alpha (x_\beta - x) + \delta_\beta (x - x_\alpha)] / (x_\beta - x_\alpha).$$

Здесь x_α , x_β – концентрации в палладии водорода, находящегося соответственно в α - и β -фазах; δ_α , δ_β – относительные увеличения объема образца гидрида палладия, находящегося соответственно в α - и β -фазах /4/.

Измерения зависимостей $\Sigma_t(v)$ проводились с образцами при температурах 300 и 80 К. Полученные данные представлены на рис. 1–3. Из анализа методом наименьших квадратов зависимостей $\Sigma_t(v)$, соответствующих чистому Pd, следует, что при обеих температурах эти зависимости следуют закону $\propto 1/v$ и в пределах точности измерений совпадают. Экстраполяцией полученных данных было определено полное микроскопическое сечение $\sigma_t = \Sigma_t/N$ для тепловых нейтронов ($v = 2200$ м/с), оказавшееся равным

$6,52 \pm 0,09$ б, что находится в удовлетворительном согласии с табличным сечением захвата $\sigma_c = 6,9 \pm \pm 0,4$ б /3/. Отсюда следует, что в исследованном диапазоне скоростей нейтронов полные сечения, в основном, определяются процессом захвата нейтронов ядрами Pd.

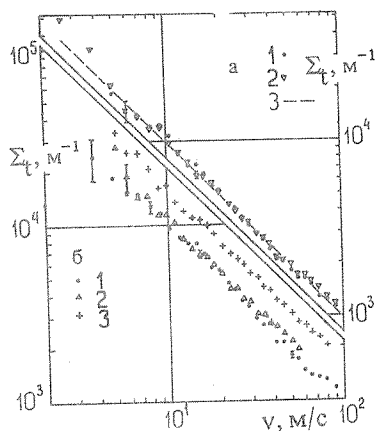


Рис. 1

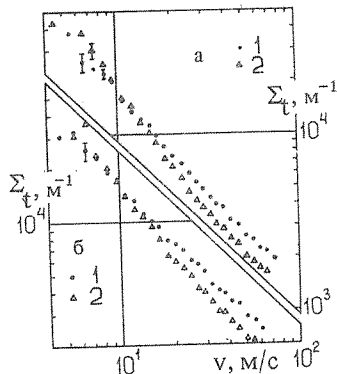


Рис. 2

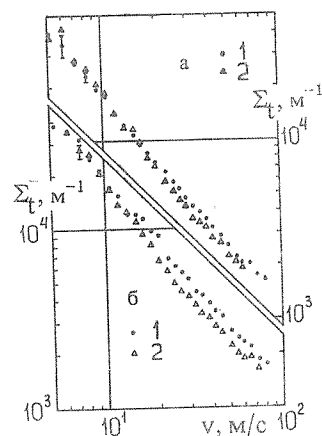


Рис. 3

Р и с. 1. Зависимости полных макроскопических сечений взаимодействия от скорости нейтронов: а) Pd при 300 (1), и 80 К (2), закон $\propto 1/v$ (3); б) PdH_{0,008} при 300 К (1); PdH_{0,71} при 80 (2) и 300 К (3).

Р и с. 2. Зависимости полных макроскопических сечений взаимодействия от скорости нейтронов: а) PdH_{0,32} при 300 (1) и 80 К (2); б) PdH_{0,51} при 300 (1) и 80 К (2).

Р и с. 3. Зависимости полных макроскопических сечений взаимодействия от скорости нейтронов: а) PdH_{0,105} при 300 (1) и 80 К (2); б) PdH_{0,26} при 300 (1) и 80 К (2).

Зависимости $\Sigma_t(v)$, полученные при взаимодействии ОХН с системой палладий – водород, имеют более сложный вид, зависящий как от концентрации водорода, так и температуры образцов. Из сравнения этих зависимостей с данными для Pd следует, что одним из основных процессов, определяющих полные сечения, является захват нейтронов ядрами Pd и H. Заметный вклад дает также упругое некогерентное рассеяние нейтронов на связанных ядрах (в основном, на водороде), сечение которого не зависит от v . Например, для зависимости $\Sigma_t(v)$, соответствующей $x = 0,71$ и 300 К, для $v = 50$ м/с этот вклад $\approx 9\%$ (при учете угла 25° , под которым детектор "виден" из образца). Разность $\Sigma_t(v)$, измеренных при различных температурах образца, определяется процессом неупругого рассеяния нейтронов на тепловых колебаниях кристаллической решетки, подчиняющимся закону $\propto 1/v/2$. Однако из представленных результатов следует, что эта разность соответствует закону $\propto 1/v$ во всем исследованном диапазоне скоростей нейтронов только для $x = 0,71$. При других концентрациях ($x = 0,105; 0,26; 0,32; 0,51$) зависимости $\propto 1/v$ наблюдается на ограниченном участке $30 \text{ м/с} < v < 80 \text{ м/с}$, а при меньших скоростях зависимости $\Sigma_t(v)$, соответствующие различным температурам образцов, пересекаются. Последнее можно объяснить упругим некогерентным рассеянием нейтронов /5/ на флуктуациях плотности водорода, концентрация и размер которых, по-видимому, зависят от соотношения α - и β -фаз, менявшегося в данных измерениях насыщением образца палладия до различных концентраций водорода и охлаждением до 80 К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов А. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 10 (1977).
2. Антонов А. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 13 (1978).
3. Neutron Cross Section Series. 1, Part A., New-York, Academic Press, 1981.
4. Водород в металлах. М., Мир, 1981, т. 1,2.
5. Антонов А. В. и др. ФТТ, 26, 1585 (1984).

Поступила в редакцию 28 ноября 1985 г.