

УДК 539.27

РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ СВЯЗАННЫМИ ПРОТОНАМИ В СПЕКТРОМЕТРЕ ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ

А. А. Бергман¹, К. В. Владимирский, А. Е. Самсонов¹

В измерениях сечений радиационного захвата медленных нейтронов ядрами марганца и кобальта, выполненных на водородосодержащих образцах, обнаружена значительная зависимость результатов измерений не только от количества водорода, но и от химических свойств примеси, что может быть объяснено влиянием химических связей на рассеяние нейтронов атомами водорода.

Нейтронные спектрометры по времени замедления [1 – 3] широко используются для исследования радиационного захвата нейтронов ядрами в области малых энергий. Измерения сечений проводятся на образцах, помещенных в малую полость в теле большого свинцового куба. Спектр нейтронов, воздействующих на образец, в принципе, должен определяться рассеянием на тяжелых ядрах свинца. Примеси водородосодержащих веществ в образцах часто являются трудно контролируемым осложняющим обстоятельством. Рассеяние на водороде заметно изменяет энергетический спектр нейтронов и должно учитываться при оценке результатов. Для выяснения природы и масштаба этих явлений были использованы измерения сечений захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта в области энергий 1 – 13 эВ, где может быть существенным влияние химических связей на рассеяние нейтронов атомами водорода [4, 5]. В экспериментах использовались образцы окислов MnO_2 и Co_2O_3 , содержащие известные количества влаги, а также образцы гидроксидов $Co(OH)_2$.

Исследования проводились на нейтронном спектрометре по времени замедления ИЯИ РАН [1 – 3]. Детектором радиационного захвата нейтронов служил газовый счетчик

¹Институт ядерных исследований РАН.

с эффективностью, пропорциональной энергии гамма-квантов. Исследуемые порошкообразные вещества помещались в надеваемый на счетчик полый цилиндрический дюралюминиевый контейнер с толщиной стенок 0,35 мм. Мониторирование и измерение нейтронного потока осуществлялись с помощью борных счетчиков [6]. Использовались два уровня дискриминации амплитуд импульсов, что позволило осуществлять регистрацию числа гамма-квантов с воспроизводимостью, лучшей 1%. Для нормирования сечений использовались дополнительные измерения, проводившиеся на тепловых нейтронах, получаемых нестационарным методом в графитовой призме. В процессе экспериментов определялось отношение числа импульсов счетчика гамма-квантов к числу импульсов борного счетчика, измеряющего поток нейтронов. Результаты измерений сечений захвата усреднялись по энергиям в диапазоне от 1 до 13 эВ. Изменения этих средних значений, вызванные влиянием водородосодержащей примеси, сравнивались с расчетными изменениями, найденными исходя из сечений рассеяния на свободных протонах, без учета возможного влияния химической связи. При расчетах учитывались отклонения сечений захвата нейтронов от закона $1/v$, вызываемые резонансами 334 эВ (^{55}Mn) и 132 эВ (^{59}Co). Учитывалась также анизотропия распределения скоростей нейтронов, испытавших последнее соударение с рассеивателем непосредственно в образце². Исходный, невозмущенный рассеянием на водороде энергетический спектр принимался совпадающим со спектром, обусловленным рассеянием на ядрах основного замедлителя – свинца. Учитывалось только однократное рассеяние на водороде. В геометрии опыта возвращение к образцу нейтрона, уже однажды провзаимодействовавшего с водородом примеси, крайне маловероятно.

Для контроля содержания водорода в образцах использовались как прямой весовой метод, так и измерение числа гамма-квантов захвата, возникающих в золотой фольге, окружающей счетчик. Использовался сравнительный метод: поверх золотой фольги надевались либо исследуемые образцы, либо полиэтиленовые цилиндры. При энергиях нейтронов от 10 до 40 эВ происходило существенное увеличение числа гамма-квантов за счет нейтронов, энергия которых после рассеяния на водороде оказывалась близка к энергии резонанса ядер золота (4,9 эВ). Результаты определения количества водорода по числу гамма-квантов захвата с хорошей точностью соответствовали результатам, полученным прямым методом. Это свидетельствует о том, что изменения энергетиче-

²За помощь в проведении расчетов для вытянутой в одном направлении формы образца авторы выражают глубокую благодарность М. В. Казарновскому и С. И. Поташеву.

ского спектра нейтронов за счет рассеяния на водороде в области энергий 10 – 40 эВ можно считать независимыми от влияния химических связей.

Т а б л и ц а 1
Результаты измерений

N	Образец	$\bar{n} \cdot 10^{21}$	$\bar{n}\sigma$	$c_1, \%$	$c_2, \%$	c_1/c_2
1	MnO_2 , воздушно-сухой	5,16	$0,098 \pm 0,002$	$6,7 \pm 0,14$	$18,5 \pm 0,9$	$2,76 \pm 0,15$
2	MnO_2 , прокаленный	4,34	$0,008 \pm 0,001$	0,56	$-1,2 \pm 1,2$	
3	Mn, металл	9,21	0	0	$1,3 \pm 0,9$	
4	Co_2O_3 , воздушно-сухой	8,25	$0,033 \pm 0,002$	$2,18 \pm 0,13$	$8,2 \pm 0,7$	$3,26 \pm 0,34$
5	Co_3O_4 , прокаленный	2,55	0	0	$-0,4 \pm 0,8$	
6	Co_3O_4 , влажный	2,33	$0,0197 \pm 0,0024$	$1,36 \pm 0,16$	$2,6 \pm 0,7$	$1,9 \pm 0,56$
7	Co_3O_4 , влажный	6,74	$0,0674 \pm 0,0027$	4,63	$11,1 \pm 0,6$	$2,4 \pm 0,16$
8	$CoOOH$	6,72	$0,134 \pm 0,002$	$9,24 \pm 0,14$	$13,7 \pm 0,6$	$1,48 \pm 0,08$
9	$CoOOH$	2,21	$0,046 \pm 0,023$	$3,18 \pm 0,16$	$6,2 \pm 1,2$	$1,95 \pm 0,4$

σ – сечение рассеяния нейтронов на протонах, \bar{n} – средний путь нейтронов в образце, c_1 – ожидаемое относительное увеличение числа захватных гамма-квантов, c_2 – экспериментально найденное увеличение числа гамма-квантов.

Результаты измерений сечений захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта представлены в табл. 1. Наибольшее превышение экспериментальных результатов c_1 над расчетными c_2 получено для воздушно-сухих препаратов MnO_2 и Co_2O_3 (образцы 1 и 4). Здесь количество водорода в образцах невелико, оно определялось по числу гамма-квантов, рожденных в золотой фольге. Образцы окиси кобальта 6 и 7 длительно выдерживались в среде влажностью 100%. Измерения с этими образцами показали двойное превышение числа гамма-квантов захвата над расчетным. Измерения с образцом 7 проводились спустя два месяца после подготовки препарата, количество водорода уменьшилось по сравнению с начальным, а значение c_2/c_1 оказалось большим.

Это говорит о медленных химических изменениях в препарате как причине изменений характеристик рассеяния. В этом смысле показательно также сравнение результатов, полученных с образцами 7 и 1. По-видимому, при длительной выдержке изменяется состояние адсорбированной воды и возрастает сечение рассеяния на водороде. Несколько меньшие значения c_2/c_1 получены с образцами гидроокиси кобальта 8 и 9.

Контрольными послужили измерения с металлическим марганцем (образец 3) и прокаленными окислами (образцы 2 и 5). В образцах 3 и 5 содержание водорода пренебрежимо мало, для образца 2 приведено значение, соответствующее остаточному малому количеству водорода в образце. Во всех трех случаях различия в значениях c_1 и c_2 не превышают ошибок эксперимента. В опытах с водородосодержащим веществом, размещенным вне контейнера, содержащего препараты марганца или кобальта, влияние химической связи на рассеяние нейтронов не обнаружено. В этих опытах использовался один вид рассеивающего вещества – полиэтилен.

Приведенные в табл. 1 данные обнаруживают несомненные отклонения экспериментальных результатов от расчетных, что естественно связать с изменениями характеристик рассеяния нейтронов на водороде. Эти результаты, по-видимому, вообще характерны для спектроскопии атомных ядер в области энергий, соизмеримых с энергиями химических связей. Исследования рассеяния нейтронов в этой области энергий представляют интерес как сами по себе, так и как средство диагностики явлений, происходящих на грани радиационного разрушения вещества.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ш а п и р о Ф. Л. Труды ФИАН, **24**, 3 (1964). И с а к о в А. И. *ibidem*, 68.
П о п о в Ю. П. *ibidem*, 111. Б е р г м а н А. А. *ibidem*, 169.
- [2] Б е р г м а н А. А., М а л и к ж о н о в А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 4, 71 (1972).
- [3] Б е р г м а н А. А., С т а в и с с к и й Ю. А., Ч е л н о к о в В. Б.,
С а м с о н о в А. Е., Т о л с т и к о в В. А., М е д в е д е в А. Н. Ядерные константы, Атомиздат, **7**, 50 (1971).
- [4] F e r m i E. Ric. Scientifica, **7(2)**, 13 (1936). Ф е р м и Э., Научные труды, т. 1. М., Наука, 1971, с. 741.
- [5] B e t h e H. Rev. Mod. Phys., **9**, 122 (1937).

- [6] Бергман А. А., Бескорский А. И., Данилов В. Ф.,
Маликжонов А., Медведев А. Н., Самсонов А. Е. ВАНТ, серия
Ядерные константы, вып. 1, 4 (1991).

Поступила в редакцию 10 августа 1995 г.