

УДК 539.125.5.164

Об одной возможности существенного уменьшения доплеровского уширения резонансных уровней в нейтронной спектроскопии

МОСТОВАЯ Т. А., МОСТОВОЙ В. И., МЕЛЕХОВ В. В.

Для тяжелых делящихся ядер, а также для ряда редкоземельных изотопов энергетическая область измерения параметров резонансов в настоящее время ограничена не разрешением нейтронных спектрометров, а доплеровским уширением. В обычных измерениях оно приводит к потере информации об уровнях уже при энергии ≤ 30 эВ. Поэтому проблема уменьшения влияния эффекта Доплера приобретает большую актуальность для дальнейшего развития нейтронной спектроскопии.

Как известно, в области энергий, где доплеровское уширение заметно сказывается на форме уровней, его значение определяется следующим выражением, справедливым для случая так называемой слабой связи [1]:

$$\Delta = 2\sqrt{R\epsilon^*}, \quad (1)$$

где R — энергия отдачи ядра; ϵ^* — эффективная энергия, приходящаяся на одну степень свободы в решетке твердого тела.

Один из тривиальных путей уменьшения доплеровского уширения — охлаждение образца, которое приводит к уменьшению ϵ^* . Однако этот путь малоэффективен, так как при $T \rightarrow 0$ $\epsilon^* \rightarrow (3/8)k\theta$, где θ — температура Дебая, обычно довольно высокая для большинства атомов среднего и тяжелого веса и их соединений. Охлаждение мишеней из окиси-закиси урана, например, уменьшает Δ примерно на 30%.

Гораздо сильнее можно подавить эффект Доплера при охлаждении, если измерения проводят на образ-

цах $V_{0,99}U_{0,01}$ и $Ti_{0,05}U_{0,95}$ наблюдались квазилокальные уровни урана с энергией $\sim 7,5$ мэВ. С использованием этих образцов было измерено полное сечение ^{238}U при комнатной температуре и температуре жидкого гелия на одном из спектрометров ЛЭУ «Факел» с разрешением ~ 5 нс/м.

Путем подгонки расчетного сечения, описываемого известными доплеровскими функциями $\psi(x, \beta)$ и $\chi(x, \beta)$, к экспериментальным данным в области крыльев резонансов * были получены значения $\beta = 2D/\Gamma$ (D — полное уширение для уровня с естественной шириной Γ) резонансов ^{238}U при энергии 6,67; 20,9 и 36,8 эВ. Из этих данных с учетом разрешения спектрометра были получены значения доплеровской ширины резонансов, которые согласно (1) определяются энергией ϵ^* (см. таблицу).

Из таблицы видно, что при $T \ll \epsilon_{кд}/k$ $\epsilon^* \approx \epsilon_{кд}/2$, а при $T \gg \epsilon_{кд}/k$ $\epsilon^* \approx kT$, как и следует ожидать из теории для случая слабой связи [1]. Полученные значения ($\epsilon_{кд} \approx 2\epsilon^*$) в пределах погрешности эксперимента совпадают с данными работ [3,4]. Этот результат показывает, что доплеровское уширение резонансов при низких температурах в сплавах замещения определяется не дебаевской температурой образца, а энергией квазилокальных уровней. Минимальное значение доплеровской ширины урана в сплавах замещения VU и TiU в 2 раза меньше минимального значения для окиси-закиси урана.

Эффективные энергии ϵ^*

E_0 , эВ	$V_{0,99}U_{0,01}$		$Ti_{0,05}U_{0,95}$			
	$T = 4,2$ К		$T = 4,2$ К		$T = 290$ К	
	β	ϵ^* , мэВ	β	ϵ^* , мэВ	β	ϵ^* , мэВ
6,67	$1,6 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,5$	$1,9 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,5$	$4,3 \pm 0,1$	$24,6 \pm 1,1$
20,9	$2,4 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,7$	$3,0 \pm 0,5$	$5,6 \pm 1,3$	$5,9 \pm 0,2$	$25,3 \pm 1,8$
36,8	$2,3 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,6$	$2,3 \pm 0,3$	$4,5 \pm 1,8$	$4,4 \pm 0,2$	$22,5 \pm 2,0$

цах сплавов замещения, в которых атомы исследуемого вещества находятся в качестве небольших примесей в решетке-матрице более легких атомов. В этом случае эффективная энергия $\epsilon^* \rightarrow \epsilon_{кд}/2$ при $T \rightarrow 0$, где $\epsilon_{кд}$ — энергия так называемых квазилокальных уровней тяжелых атомов примеси. Она может быть оценена, например, из формулы, приводимой в работе [2]:

$$\epsilon_{кд} = k\theta_0 / \sqrt{3[(M/m) - 1]}, \quad (2)$$

где θ_0 — дебаевская температура решетки-матрицы; M и m — масса атомов примеси и матрицы соответственно. Значение $\epsilon_{кд}$ может оказаться довольно малым для решеток-матриц легких атомов, имеющих низкую дебаевскую температуру.

Создание образцов с низкими значениями энергии квазилокальных уровней (или вообще с низкой энергией ϵ^*) открывает путь для существенного подавления эффекта Доплера в нейтронной спектроскопии.

Поступило в Редакцию 25.VII.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lamb W. «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 190.
2. Каган Ю., Жернов А. П. «ЖЭТФ», 1966, т. 50, с. 1107.
3. Chernoplekov N. e.a. «Phys. Stat. Sol.», 1967, v. 20, p. 767.
4. Syrych G. e.a. «Phys. Stat. Sol. (B)», 1977, v. 79, p. 105.

* Имевшиеся образцы были слишком толстыми и не позволили измерить сечение вблизи самих резонансов.