

НАБЛЮДЕНИЕ ФОНОННОГО "УЗКОГО ГОРЛА" С ПОМОЩЬЮ РАССЕЯНИЯ СВЕТА МАНДЕЛЬШТАМА – БРИЛЛЮЭНА

С.А.Альшуглер, Р.М.Валишев, А.Х.Хасанов

В работах [1,2] было указано на возможность изучения спин-фононного взаимодействия в парамагнетиках с помощью рассеяния света Мандельштама – Бриллюэна (МБР). До настоящего времени в этом направлении осуществлен всего лишь один эксперимент [3].

Используя обычную технику МБР, мы наблюдали непосредственно эффект фононного "узкого горла" в двойном нитрате церия и магния (CeMN) при следующих экспериментальных условиях. Исследуемый образец с размерами $4,5 \times 4,5 \times 9$ мм помещался в охлаждаемый до $1,5^\circ\text{K}$ прямоугольный резонатор, в котором на частоте $14,2 \text{ Гц}$ возбуждалась волна типа H_{10} . Постоянное магнитное поле накладывалось перпендикулярно тригональной оси кристалла C_3 , так как для ионов Ce^{3+} в двойном нитрате $g_{\parallel} \approx 0$, а $g_{\perp} \approx 1,83$. Ввиду отсутствия сверхтонкой структуры, в резонансном поле $H_0 = 5550 \text{ э}$ наблюдалась одиночная линия ЭПР, соответствующая спиновым переходам между уровнями нижнего дублета ионов Ce^{3+} . Возбуждающий свет излучался гелий-неоновым лазером мощностью 25 мвт , работающем на длине волны 6328 \AA . Рассеянный свет наблюдался под углом 90° к падающему лучу и был направлен вдоль оси C_3 . В этих условиях в образовании спектра МБР участвуют только те дебаевские упругие волны, которые распространяются под углом 45° к оси C_3 . Для наблюдения фононного "узкого горла" были выбраны продольные упругие волны, так как, согласно нашим измерениям, они дают наиболее интенсивные спек-

тральные линии МБР в исследуемом кристалле. При указанной оптической ориентации образца частота этих колебаний при гелиевых температурах составляла 14,2 Гц.

Стационарное насыщение линии ЭПР ионов церия приводило к резкому возрастанию интенсивности наблюдаемых компонент МБР, обусловленному, очевидно, "нагреванием" фононов в полосе частот, определяемой шириной линии ЭПР, за счет релаксации спинов в присутствии фононного "узкого горла". Сравнительные измерения интенсивности этих компонент в условиях насыщения и в отсутствие последнего позволили найти температуру "горячих" фононов равной 100°К. Таким образом отмечено почти 70-кратное увеличение температуры резонансных фононов по отношению к их равновесной температуре 1,5°К.

Исходя из условий эксперимента можно теоретически оценить температуру "горячих" фононов. Для этого запишем σ -фактор "узкого горла" [4,5] в виде

$$\sigma = \frac{\tau_{\Phi} \nu^3 c}{4\pi \nu^2 \Delta \nu T_1} \operatorname{th}^2\left(\frac{h\nu}{2kT}\right) .$$

Здесь $\nu = 4,2 \cdot 10^5$ см/сек — скорость продольных колебаний; $c = 1,6 \cdot 10^{21}$ см⁻³ — концентрация парамагнитных частиц; $\nu = 14,2$ Гц — частота резонансных фононов; $\Delta \nu = 400$ МГц — спектральная ширина полосы "горячих" фононов, принимаемая равной ширине линии ЭПР; $T = 1,5^\circ\text{К}$ — температура термостата; $\tau_{\Phi} = \ell/2\nu = 8 \cdot 10^{-7}$ сек — время релаксации фононов, определяемое размерами образца ℓ ; $T_1 < 3 \cdot 10^{-2}$ сек — время прямых процессов спин-решеточной релаксации через продольные фононы при отсутствии "узкого горла"¹⁾. Приведенные значения величин дают $\sigma > 160$.

Температура "горячих" фононов T_{Φ} связана с σ выражением [5]

$$T_{\Phi} = T/2 \{ (1-s) + [(1+s)^2 + 4\sigma s]^{1/2} \} ,$$

где s — фактор насыщения линии ЭПР, по условиям эксперимента равный примерно 10. Отсюда получаем $T_{\Phi} > 50^\circ\text{К}$, что вполне согласуется с экспериментально зарегистрированным значением 100°К.

¹⁾ Оценка T_1 получена из экспериментально определенной [5] верхней граничной величины T_1 с учетом того, что в CeMN скорости продольных и поперечных волн относятся как $v_{\parallel}/v_{\perp} = 0,6$. При этом принималась во внимание зависимость T_1 от магнитного поля: $T_1 \sim H^{-5}$ [6].

В заключение авторы приносят благодарность проф. И.Л.Фабелинскому за ценные консультации.

Казанский
государственный университет
им. В.И.Ульянова-Ленина

Поступила в редакцию
4 июля 1969г.

Литература

- [1] С.А.Альтшулер, Б.И.Кочелаев. ЖЭТФ, 49, 862, 1965.
 - [2] Б.И.Кочелаев. ДАН СССР, 166, 833, 1966.
 - [3] W.J.Braya, S.Geschwind, G.E.Devlin. Phys. Rev. Lett., 21, 1800, 1968.
 - [4] B.W.Faughnan, M.W.P.Strandberg. J. Phys. Chem. Solids, 19, 155, 1961.
 - [5] P.L.Scott, C.D.Jeffries. Phys. Rev., 127, 32, 1962.
 - [6] К.Джеффрис. Динамическая ориентация ядер. М., 1965.
-