

## МАГНИТОУПРУГОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ $MnCO_3$

В. Р. Гахель

В данной работе экспериментально исследовано поведение трехсвязной системы: взаимодействие гиперзвуковых волн со спиновыми волнами электронной подсистемы, взаимодействующей в свою очередь с ядерными спинами. Влияние ядерных спинов проявляется в своеобразной температурной и частотной зависимости магнито-акустического резонанса.

В работе исследовано влияние магнитного поля на скорость распространения поперечных гиперзвуковых волн в  $MnCO_3$ . Звук возбуждался на нечетных гармониках пластинок X среза  $LiNbO_3$  (первая гармоника около 80 МГц). Для измерения скорости использовался эхо-импульсный метод (длительность импульса 0,3 мксек). Изменение скорости измерялось модифицированным фазово-импульсным методом: изменение фазы импульсно-модулированного сигнала, происходящее при изменении скорости звука в образце,  $\Delta\phi_v = -(2\pi f \ell / v)(\Delta v / v)$  ( $\ell$  — длина образца,  $v$  — скорость звука) компенсировалось изменением фазы в линии задержки  $\Delta\phi_c = 2\pi f c^{-1} \Delta L$  ( $c$  — скорость света,  $\Delta L$  — изменение длины линии)  $\Delta\phi_v + \Delta\phi_c = 0$ ; таким образом,  $(v/c)(\Delta L / \ell) = \Delta v / v$ . Индикация неизменности суммарной фазы производилось сравнением с непрерывным ВЧ сигналом, взятым от того же генератора.

Монокристаллы  $MnCO_3$  были выращены гидротермальным методом на установке Института кристаллографии АН СССР [1]. Образцы имели вид прямоугольных параллелепипедов с габаритами  $2 \times 3,5$  мм.

В работе получены значения скоростей поперечных звуковых волн, распространяющихся вдоль оси второго порядка  $L_2$ :

$$v_1 = (4,55 \pm 0,06) \cdot 10^5 \text{ см/сек} \quad \text{и} \quad v_2 = (2,94 \pm 0,05) \cdot 10^5 \text{ см/сек}$$

и их поляризации: соответственно

$$39 \pm 2^\circ \quad \text{и} \quad 51 \pm 2^\circ \quad \text{к оси } z.$$

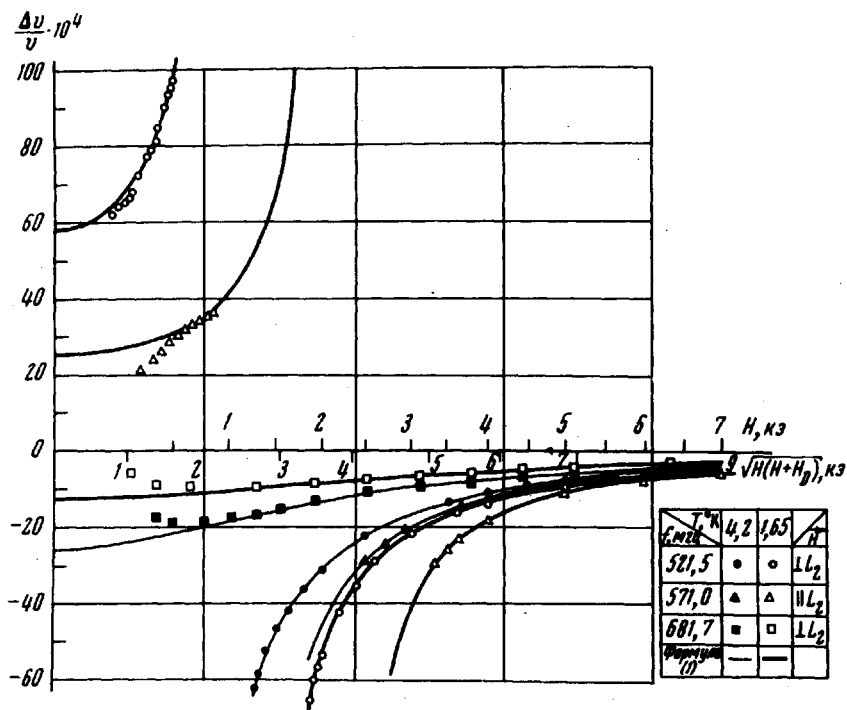
Значение скоростей звука в интервале температур от 80 до 1,6°K оставались неизменными в пределах погрешности измерений.

В антиферромагнитном состоянии (температура Нееля для  $MnCO_3$  — 32,5°K) обнаружено влияние магнитного поля на скорости распространения поперечного звука  $v_1$  и  $v_2$ .

Магнитное поле было направлено в базисной плоскости (т. е. перпендикулярно оси третьего порядка).

1) Автор приносит сердечную благодарность Н.Ю.Икорниковой за любезно предоставленную возможность воспользоваться ее установкой для выращивания  $MnCO_3$  и ценные методические указания.

На рисунке приведены экспериментальные данные зависимости скорости звука от магнитного поля для гиперзвуковых волн, имеющих скорость  $v_2 = 2,94 \cdot 10^5$  см/сек. Относительная погрешность измерения  $\Delta v/v$  составляет  $2 \cdot 10^{-4}$ , абсолютная погрешность —  $2 \cdot 10^{-2}$ . Влияние магнитного поля на скорость звука обусловлено взаимодействием звуковых и спиновых волн.



Спектр спиновых волн с  $k = 0$  в  $\text{MnCO}_3$  исследован в работах [2, 3] методами АФМР и ЯМР.

Теоретическое рассмотрение связанных магнитоупругих волн в  $\text{MnCO}_3$  [4], не учитывающее влияния ядерной спиновой подсистемы, не объясняет наблюдаемой нами температурной и частотной зависимости изменения скорости звука при изменении магнитного поля.

Как видно из рисунка, полученные экспериментальные данные можно описать зависимостью вида:

$$\frac{\Delta v}{v} = - \frac{\sigma}{\gamma_3^2 + \frac{\omega^2}{H(H + H_D) + H_{\Delta 1}^2} - b(T, f)}, \quad (1)$$

обозначенную на рисунке сплошными линиями.

Здесь  $\sigma$  — характеризует магнитоупругую связь,  $b(T, f) = \left( \frac{f^2}{f_{\phi_0}^2 - f^2} \right) \left( \frac{b_0}{T} \right)$

появляется из-за электронно-ядерного взаимодействия,  $H_{\Delta 1}^2 \sim 1 \text{ кэ}^2$  — магнитоупругая щель в спектре спиновых волн,  $H_D = 4,4 \text{ кэ}$  — поле Дзялошинского,  $\gamma_3$  — гиромангнитное отношение,  $f_{\phi_0} \approx 640 \text{ МГц}$  — частота ядерного резонанса в эффективном поле сверхтонкого взаимодействия,  $T$  — абсолютная температура.

Экспериментальные данные, приведенные на рисунке в согласии с формулой (1), выявляют своеобразие магнито-акустического резонанса при наличии электронно-ядерной связи: на частотах  $f < f_{я0}$  происходит резонансное изменение скорости звука при изменении магнитного

поля, на частотах  $\chi_3 \left[ H(H + H_D) + \frac{b_0}{T} + H_{\Delta 1}^2 \right] > f > f_{я0}$  наблюдается монотонное изменение скорости звука с изменением поля. Влияние температуры на зависимость скорости от магнитного поля тем больше, чем ближе частота звуковых колебаний к частоте  $f_{я0}$ , причем уменьшение температуры эквивалентно увеличению магнитного поля для  $f < f_{я0}$  и эквивалентно уменьшению поля для  $f > f_{я0}$ .

Зависимости скорости от магнитного поля при  $H \parallel L_2$  и  $H \perp L_2$  оказались одинаковы при  $H > 2 \text{ кэ}$  ( $L_2$  — ось второго порядка, лежащая в базисной плоскости).

Зависимость скорости звука от магнитного поля, аналогичная изображенной на рисунке, была наблюдаена также для гиперзвуковых волн, имеющих скорость  $v_1 = 4,55 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$  (с другим значением константы  $\alpha$ ).

В области резонансного изменения скорости звука наблюдалось также сильное увеличение затухания звука (от  $3 + 5 \text{ дб/см}$  в полях больше  $5 \text{ кэ}$  до значений, превышающих  $60 \text{ дб/см}$  в резонансных полях), тогда как при частоте  $681,7 \text{ МГц}$  затухание звука менялось мало во всем диапазоне полей  $H > 0,5 \text{ кэ}$ .

Отклонение экспериментальных данных от теории в области полей  $H < 0,5 \text{ кэ}$  (см. рисунок) связано, очевидно, с увеличением затухания спиновых волн в малых полях, что приводит к уменьшению влияния спиновых волн на звук (ширина линии АФМР —  $\Delta H$  не зависит от величины поля [2], следовательно затухание  $\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{2H + H_D}{2H(H + H_D)} \Delta H \approx \frac{\Delta H}{H}$  растет при  $H \rightarrow 0$ ).

Автор приносит благодарность П.Л.Капице за предоставленную возможность выполнения работы в Институте физических проблем АН СССР, А.С.Боровику-Романову за тему, предложенную для исследования и ценные указания, Л.М.Беляеву за интерес к работе, И.М.Сильвестровой, Ю.В.Писаревскому, Ю.Ф.Орехову, С.М.Черемисину, И.Я.Краснополюну за полезные советы, способствовавшие выполнению данной работы.

Институт физических проблем АН СССР  
Институт кристаллографии АН СССР

Поступила в редакцию  
6 декабря 1972 г.

### Литература

- [1] Н.Ю.Икорникова. Кристаллография, 6, 745, 1961.
- [2] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 45, 64, 1963.
- [3] В.А.Тулин. ЖЭТФ, 55, 831, 1968.
- [4] В.Г.Барьяхтар, М.А.Савченко, В.В.Ганин, П.В.Рябко. ЖЭТФ, 47, 1989, 1964.