

## УДВОЕНИЕ ЧАСТОТЫ ЗВУКА И АКУСТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ В ГЕМАТИТЕ

*В.И.Ожогин, А.Ю.Лебедев, А.Ю.Якубовский*

В монокристаллическом гематите наблюдаются первые из многих возможных проявлений эффективного (магнитоупругого происхождения) ангармонизма упругой подсистемы антиферромагнетиков – генерация второй гармоники и акустическое детектирование модулированной звуковой волны. Оба эффекта в согласии с предсказаниями теории велики и сильно зависят от магнитного поля.

Нелинейные акустические явления в твердых телах потенциально разнообразны и многоинформативны. Их исследование затруднено относительно малой величиной модулей упругости третьего порядка  $\hat{C}^{(3)}$ , хотя и возможно при достаточно больших амплитудах звуковой волны [1]. В магнитоупорядоченных кристаллах модули  $\hat{C}^{(3)}$  для низкочастотных квазиупругих колебаний перенормируются благодаря нелинейностям магнитоупругого (МУ) взаимодействия и самой магнитной подсистемы. В слабоанизотропных антиферромагнетиках (АФ) ожидаемая перенормировка [2] особенно велика из-за характерного для АФ участия обменного взаимодействия в длинноволновых колебаниях [3 – 5] и особенно интересна своей сильной зависимостью от магнитного поля. Наиболее удобным объектом для экспериментальной проверки предложенной в [2]

концепции эффективного ангармонизма упругой подсистемы АФ является гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , точка Нееля  $T_N = 960 \text{ K}$ , обменное поле  $H_E = 9,2 \text{ Мэ}$ ) в легкоплоскостной фазе ( $T_N > T > T_M = 262 \text{ K}$ ), тем более что большая и зависящая от поля МУ перенормировка модулей второго порядка  $\hat{C}^{(2)}$  в этом АФ подтверждается экспериментально [6, 7].

Наши измерения проводились при комнатной температуре на синтетическом монокристалле гематита в форме пластинки площадью  $0,4 \text{ см}^2$  и толщиной  $0,3 \text{ см}$ ; оси  $C_3$  и  $U_2$  находились в плоскости пластинки. Использовалась импульсная ( $\tau = 1 \text{ мксек}$ ) методика, при этом звук возбуждался кварцевым преобразователем на частоте  $34 \text{ МГц}$  и принимался на удвоенной частоте другим кварцевым преобразователем. Акустический контакт преобразователей с образцом осуществлялся салолом. Для разных направлений поляризации звука в плоскости пластинки результаты существенно не различались. Ниже приводятся данные для поляризации колебаний входного и выходного преобразователей соответственно вдоль  $C_3$  и  $U_2$ <sup>1)</sup>. При этом постоянное магнитное поле  $H$  было направлено перпендикулярно плоскости пластинки.

Наблюдалась серия импульсов второй гармоники, причем их амплитуда сильно зависела от величины  $H$ . Заменой гематита на плавленный кварц и включением перед образцом фильтра второй гармоники было показано, что в самой схеме вторая гармоника не возникает. Измерялись зависимости амплитуды ряда пиков серии от мощности сигнала основной частоты при разных значениях  $H$ . Входная ВЧ мощность изменялась калиброванным аттенуатором в диапазоне  $(10^{-2} \pm 1) \text{ вт}$ , что соответствовало деформациям  $\epsilon_1 \approx (0,4 \pm 4) \cdot 10^{-7}$  в первичной звуковой волне. На рис. 1 приведены зависимости мощности  $P_2$  сигнала второй гармоники от  $P_1^2$  при нескольких значениях  $H$ . Видно, что они имеют вид прямых с различным наклоном. Тангенс угла  $\alpha$  наклона этих прямых, характеризующий эффективность преобразования звука во вторую гармонику, построен в логарифмическом масштабе на рис. 2 в зависимости от  $H$ .

Таким образом, мощность второй гармоники звука имеет характерную квадратичную зависимость от мощности основного сигнала. Магнитное происхождение эффекта подтверждается его сильной зависимостью от  $H$  (рис. 2). Наличие максимума на экспериментальной кривой легко объясняется увеличением затухания звука в области малых полей, где очень велико магнитоупругое взаимодействие и влияние доменов. В области полей  $H > 0,8 \text{ кэ}$  имеется хорошее согласие с теоретической зависимостью  $\omega_0^{-4}$ , где  $\omega_0$  — частота антиферромагнитного резонанса [2]. Эта зависимость проведена на рис. 2 сплошной линией. В условиях нашего эксперимента эффективность преобразования мощности звука во вто-

1) Следует отметить, что в соответствии с (16) и (Б.1) из [2] эффект удвоения может наблюдаться при наличии как минимум двух компонент волнового вектора возбуждаемого звука. В нашем случае это условие выполнялось благодаря многократным отражениям звука от границ образца (в том числе боковых).

рую гармонику составляет  $\sim 1\%$  при поле  $1 \text{ кэ}$  и деформациях  $\epsilon_1 \sim 4 \cdot 10^{-7}$  в первичной волне, что также согласуется с выводами работы [2] и на два порядка больше, чем в чисто упругих кристаллах [1].

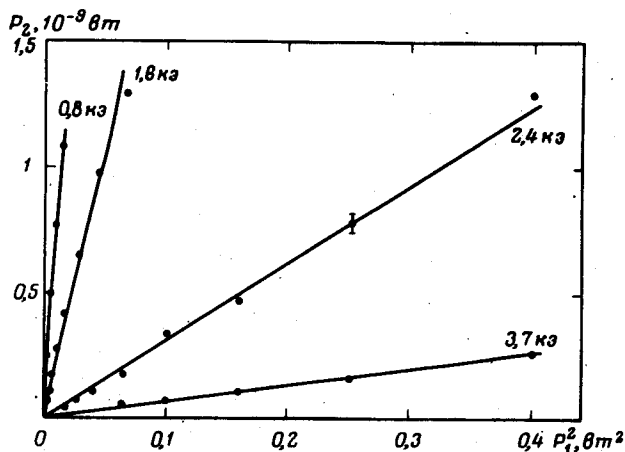


Рис.1. Зависимости мощности сигнала второй гармоники от квадрата мощности сигнала основной частоты при различных значениях постоянного магнитного поля  $H$ , ориентированного перпендикулярно  $C_3$  и  $U_2$

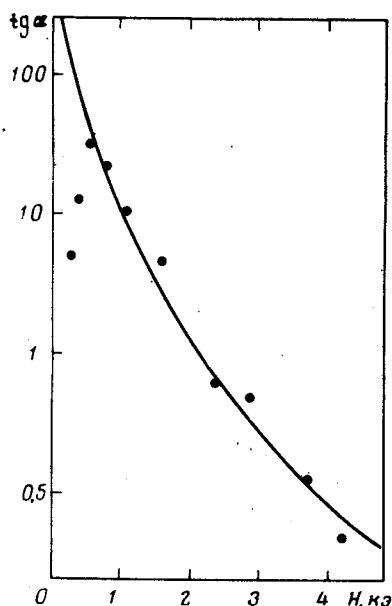


Рис.2. Зависимость от поля эффективности преобразования звука во вторую гармонику. Сплошная кривая – результат расчета по формуле (27) работы [2] с привязкой к эксперименту в поле  $2,4 \text{ кэ}$

Помимо генерации второй гармоники мы наблюдали сильно зависящий от магнитного поля эффект акустического детектирования модулированной звуковой волны. Звук с частотой  $34 \text{ Мгц}$  модулировался меандром, а сигнал принимался на частоте меандра  $390 \text{ кгц}$  резонансным преобразователем из пьезокерамики. Оказалось, что мощность продетектированного сигнала зависит квадратично от мощности основного сигнала, при этом наблюдалась ее зависимость от  $H$  такого же характера, как и для удвоения частоты (рис.2).

Авторы благодарят И.К.Кикоина за внимание к этой работе, В.Д.Воронкова за предоставление образца и А.Н.Гришмановского за консультации по вопросам методики.

Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию  
2 февраля 1978 г.

### Литература

- [1] Л.К.Зарембо, В.А.Красильников. УФН **102**, 549, 1970.
  - [2] В.И.Ожогин, В.Л.Преображенский. Intern. Conf. Magn., Abstr., 3C-9, Amsterdam, 1976; Physica, **86B**, 979, 1977; ЖЭТФ, **73**, 988, 1977.
  - [3] А.С.Боровик-Романов, Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, **47**, 2095, 1964.
  - [4] Е.А.Туров, В.Г.Шавров. ФТТ, **7**, 217, 1965.
  - [5] М.А.Савченко. ФТТ, **6**, 864, 1964.
  - [6] M.H.Seavey. Sol. St. Comm., **Ю**, 219, 1972.
  - [7] В.И.Ожогин, П.П.Максименков. Digests of Intermag conf. 49-4, Kyoto, 1972; IEEE Trans. on Magn., **MAG-8**, 645, 1972.
-