

ОБНАРУЖЕНИЕ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОГО ЭХА В ПАРАМАГНЕТИКАХ

С.А.Альтшулер, Ф.Л. Аухадеев, В.А.Грещев,
М.А.Теплов

На частоте $13,4 \text{ МГц}$ в области температур $1,6 + 4,2 \text{ К}$ обнаружено магнитоакустическое эхо в порошкообразных парамагнетиках LiTbF_4 , LiHoF_4 , LiErF_4 . Эффект объясняется существованием в образцах упругих колебаний, возникающих благодаря магнестрикции.

При попытке исследования на частоте $13,4 \text{ МГц}$ ядерной магнитной релаксации в монокристаллах LiTbF_4 , LiHoF_4 , и LiErF_4 было установлено, что при температурах жидкого гелия в присутствии сильного постоянного магнитного поля вслед за зондирующим радиочастотным импульсом в приемной катушке, содержащей образец, индуцируются затухающие колебания. Из-за большой интенсивности и продолжительности колебаний наблюдение обычного спинового эха оказалось невозможным. Типичная картина таких колебаний представлена на рис. 1, а: их интенсивность пропорциональна величине постоянного магнитного поля H_0 и обратно пропорциональна температуре, т. е. линейно связана с намагниченностью образца.

В порошкообразных веществах колебания такого рода исчезают, но при воздействии на систему двух радиочастотных импульсов в моменты времени $t = 0$ и $t = \tau$ появляются сигналы эха при $t = 2\tau$, 3τ и 4τ . Третий зондирующий импульс, отделенный от первого интервалом T' , порождает так называемое "стимулированное" эхо ($T' + \tau$), а также сигналы эха в моменты времени $(2T' - 3\tau)$, $(2T' - 2\tau)$, $(2T' - \tau)$, $(2T')$ и $(2T' + \tau)$. (См. диаграмма на рис. 1, б иллюстрирует взаимное расположение и относительные интенсивности сигналов.

Характеристики обнаруженных нами в трех веществах сигналов эха очень сходны; поэтому мы остановимся только на результатах исследования соединения LiTbF_4 , отличающегося от двух других тем, что его точка Кюри $T_c = 2,86 \text{ К}$ [1] довольно высока и попадает в доступную нам область температур. Вкратце свойства эффекта могут быть сформулированы следующим образом.

Сигналы эха наблюдаются только при наличии постоянного магнитного поля и имеют максимальную интенсивность, если переменное магнитное поле H_1 перпендикулярно H_0 .

Сигналы эха наблюдаются как в ферромагнитной, так и в парамагнитной фазах (вплоть до температуры $\sim 12 \text{ К}$), причем максимальная их амплитуда достигается в точке Кюри.

В парамагнитной области амплитуда эха пропорциональна отношению H_0 / T , т.е. пропорциональна намагниченности образца.

Температурные зависимости амплитуды эха в порошке и интенсивности вынужденных колебаний в монокристаллических образцах хорошо коррелируют между собой (рис. 2).

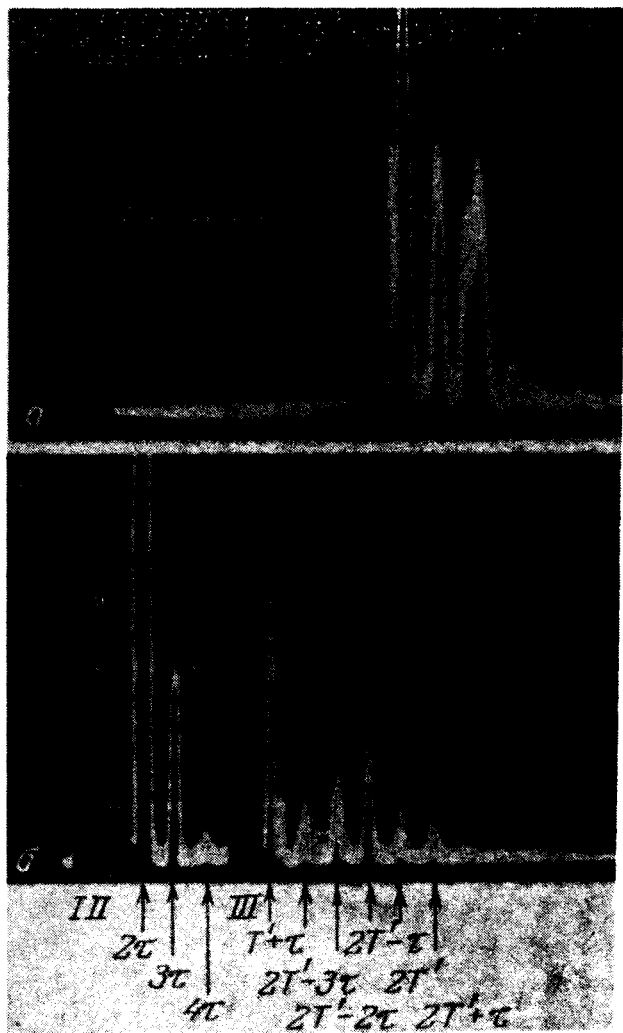


Рис. 1. Осциллограммы: *a* — вынужденных колебаний в монокристалле LiErF_4 ($H_0 \perp c$, $H_1 \perp c$, $H_1 \perp H_0$, c — кристаллографическая ось) и *б* — сигналов эха в порошке LiTbF_4 — (I, II, III — зондирующие импульсы); температура 4,2 К, развертка 20 мксек/см, $H_0 = 4000$ э

Амплитуда эха пропорциональна величине радиочастотного поля H_1 . Сигналы эха имеют наибольшую интенсивность, если образец находится в вакууме или в газообразном гелии при давлении меньше 10 тор; при увеличении давления газа сигналы уменьшаются по амплитуде и исчезают совершенно, когда образец погружается в жидкий гелий.

Характеристическое время T_2 , извлеченное из экспоненциальной огибающей сигналов эха (2τ) при изменении интервала τ , зависит от плотности упаковки порошка; так для неспрессованного порошка, состо-

яшего из частиц размером 49 – 55 мк, это время при температуре 4,2 К составляет 25 мксек, а для того же порошка, спрессованного под давлением 50 и 150 кг/см², – соответственно 14 и 6 мксек.

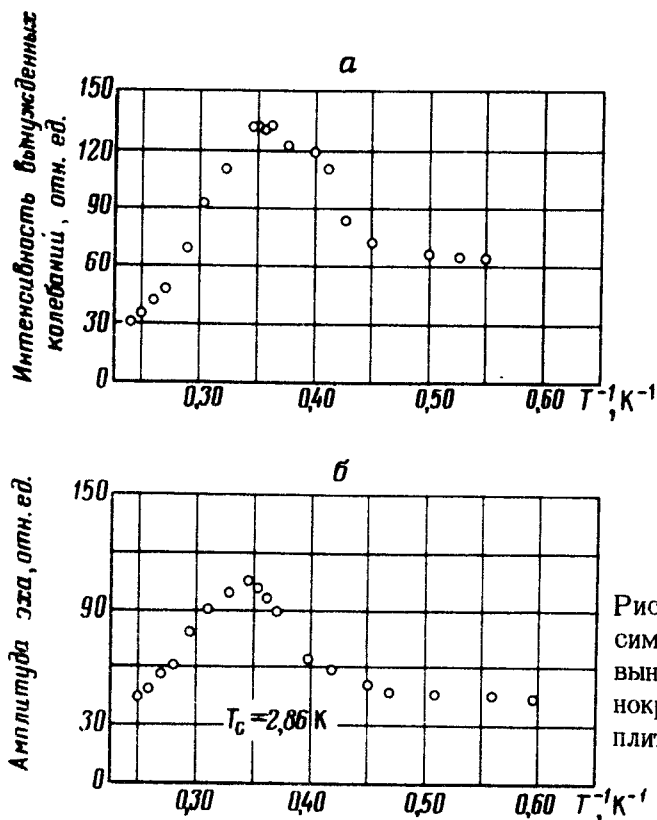


Рис. 2. Температурные зависимости: *а* – интенсивности вынужденных колебаний в монокристалле Li TbF₄ и *б* – амплитуды эха в порошке Li TbF₄

Амплитуда эха максимальна, если длительности зондирующих импульсов равны между собой и составляют примерно 3 – 4 мксек. При отклонении длительностей импульсов от оптимальных эхо становится асимметричным и быстро уменьшается по амплитуде. Оптимальные длительности не зависят ни от размеров образца в целом, ни от размеров микрокристалликов.

Характеристическое время T_1 , извлеченное из огибающей сигналов "стимулированного" эха при изменении интервала T' , по порядку величины близко к T_2 .

Изложенные выше данные во многом сходны с характеристиками электроакустического (фононного) эха, впервые обнаруженного в радиочастотном диапазоне [2, 3], и заставляют предположить, что здесь мы имеем дело с магнитным аналогом этого явления. Как в том, так и в другом случае существование сигналов эха обязано наличию упругих колебаний в образце; в нашем примере об этом свидетельствует исчезновение эха при погружении образца в жидкий гелий. В отличие от электроакустического эха в нашем случае важную роль должны играть спин-спиновые и спин-фононные взаимодействия, величина которых весьма значительна в исследованных образцах.

Мы предполагаем, что ответственной за возбуждение акустических колебаний в образце является магнитострикция. Естественно допустить,

что обусловленный магнитострикцией вклад в свободную энергию парамагнетика содержит квадратичные по магнитному полю и по деформации члены, существование которых служит причиной "обращения" времени [4], необходимого для формирования эха.

Мы надеемся, что обнаруженный нами эффект магнитоакустического (фононного) эха предоставит новые возможности для исследования спин-спиновых и спин-фононных взаимодействий, и, в особенности, малоизученного явления магнитострикции в парамагнетиках.

Авторы благодарны А.Ф.Кесселю и Б.З.Малкину за полезные дискуссии, И.С.Конову за помощь в работе.

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

Поступила в редакцию
1 июля 1975 г.

Литература

- [1] L.M.Holmes, T.Johansson, H.J.Guggenheim. Sol.State Comm., 12, 993, 1973.
 - [2] А.Р.Кессель, И.А.Сафин, А.М.Гольдман. ФТТ, 12, 3070, 1970.
 - [3] С.Н.Попов, Н.Н.Крайник. ФТТ, 12, 3022, 1970.
 - [4] R.L.Melcher, N.S.Shiren. Phys. Rev. Lett.; 34, 731, 1975.
 - [5] G.Billmann, Ch.Frenois, J.Joffrin, A.Levelut, S.Ziolkiewicz. J. Physique, 34, 453, 1973.
-