

АКУСТИЧЕСКОЕ ЯДЕРНОЕ СПИНОВОЕ ЭХО В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ KMnF_3 И RbMnF_3

*Х.Г.Богданова, В.А.Голенищев-Кутузов,
А.А.Монахов*

Сообщается о первом наблюдении акустического ядерного спинового эха, возбужденного акустическими импульсами, и электромагнитного эха, возбужденного комбинацией электромагнитного и акустического импульсов в антиферромагнетиках.

Исследование акустического спинового эха позволяет получать новую по сравнению с электромагнитным эхо информацию о переходных процессах в спин-системах, механизмах спин-фононной связи. Однако до настоящего времени вследствие больших экспериментальных трудностей акустическое эхо наблюдалось только на электронных спинах Fe^{2+} и Ni^{2+} в MgO , а на спинах Fe^{3+} , Mn^{2+} в MgO [1, 2] и ядерных спинах

J^{27} в CsJ [3] наблюдалось электромагнитное поле, возбужденное комбинацией акустических и электромагнитных импульсов.

Существует класс веществ, которые отличаются от диэлектриков как механизмом возникновения спинового эхо, так и механизмом спин-фононной связи [4 – 8]. Известно, что в магнитоупорядоченных кристаллах, благодаря сверхтонкому взаимодействию, возникает сильная связь колебаний электронной и ядерной спиновых систем. Наиболее четко такая связь проявляется в динамическом сдвиге частоты ЯМР [9].

Для ядер магнитных атомов взаимодействие спинов с резонансными ультразвуковыми колебаниями осуществляется через спиновые волны – магнитоупругий механизм. Акустическая энергия передается ядрам путем периодических деформаций решетки, создаваемых акустическими колебаниями. Эти деформации посредством магнито-упругой связи вызывают колебания электронных спинов и далее через сверхтонкую связь воздействуют на ядерную спин-систему. Для малоанізотропных антиферромагнетиков резонансное поглощение акустической энергии ядерными спинами на 8 – 10 порядков превышает соответствующие коэффициенты для немагнитных ядер.



Рис. 1. Схема прохождения акустических импульсов через образец (б); а, с, — передающий и приемный пьезопреобразователи

Для наблюдения акустического эхо использовалась импульсная методика, при которой акустические импульсы длительностью 0,2 мксек возбуждались на одной поверхности и детектировались на противоположной поверхности образцов с помощью пьезопреобразователей из ниобата лития. Пршедшие через образец импульсы регистрировались супергетеродинным приемником чувствительностью $\sim 10^{-14}$ вт. Импульсы продольных акустических волн распространялись вдоль оси [100] кубических кристаллов $KMnF_3$ и $RbMnF_3$, изготовленных в виде параллелепипедов с плоскопараллельными торцами, размерами $5 \times 5 \times 3,5$ и $5 \times 5 \times 3,1$ мм³ соответственно¹⁾. Нами впервые было обнаружено акустическое или фононное эхо при возбуждении ядерной спин-системы Mn^{55} в монокристалле $KMnF_3$ двумя акустическими импульсами вблизи ядерного резонанса. Первым на спин-систему действовал акустический импульс (1) длительностью $\tau \sim 0,2$ мксек (рис. 1). Вторым через интервал $2t_1$ после первого действовал акустический импульс (2), отраженный от переднего торца первого преобразователя. Вследствие недостаточ-

¹⁾ Кристаллы $RbMnF_3$ были выращены С.В.Петровым в ИФП АН СССР.

ного согласования между преобразователем и образцом, его интенсивность составляет $2/3$ от первого акустического импульса. Акустическое эхо (3) возникло на фоне третьего акустического импульса (4), дважды отраженного от переднего торца пьезопреобразователя. При приближении магнитного поля к резонансным условиям ядер Mn^{55} интенсивность акустических возбуждающих импульсов резко падает вследствие увеличения магнитного поглощения ультразвука в образце, а сигнал эха соответственно резко возрастает (рис. 2). Достоверность спиновой природы эха подтвердила угловая зависимость его интенсивности от H_0 .

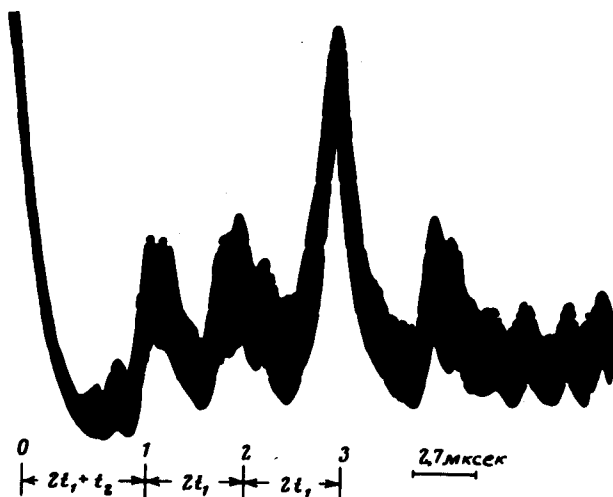


Рис. 2. Сигнал акустического эха (3), детектируемый на втором пьезопреобразователе; 1, 2 – первый и второй акустические импульсы; 0 – электромагнитный импульс, возбуждающий пьезопреобразователь

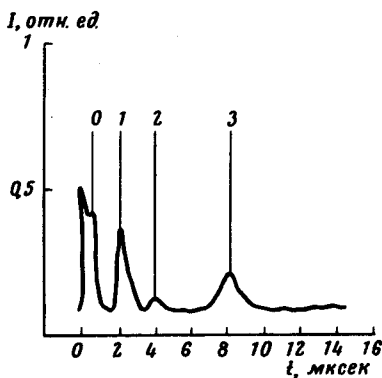


Рис. 3. Сигнал электромагнитного эха, возбужденного последовательностью электромагнитного и акустического импульсов

Также было обнаружено электромагнитное спиновое эхо на ядрах Mn^{55} в $RbMnF_3$, возбужденное последовательностью электромагнитного и акустического импульсов с длительностями 0,3 мксек и интервалом между ними

4 мксек. Возбуждение электромагнитного импульса и детектирование сигнала эха производилось спиральным резонатором, в который помещался образец. Развязка в 40 дБ приемника и передатчика осуществлялась циркулятором и диодным ключом. Сигналы эха возникали через 4 мксек после действия на образец акустического импульса. На рис. 3 приведены сигналы, принимаемые спиральным резонатором: 0 — электромагнитный импульс, 1 — импульс, возбуждающий пьезопреобразователь, 2 — электромагнитный импульс, возбужденный акустическим на границе пьезопреобразователь — образец, 3 — сигнал эха.

Эхо возникало не только при точном соответствии магнитного поля резонансным условиям, но и при расстройках порядка нескольких сотен гаусс. Характер изменения интенсивности эха в основном совпадает с результатами по наблюдению обычного электромагнитного эха [5].

В качестве характерной особенности полученных экспериментальных результатов следует отметить большую интенсивность обнаруженных сигналов эха, что, по-видимому, связано с сильным спин-фононным взаимодействием магнитных ядер в слабоанизотропных антиферромагнетиках.

Казанский
физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 февраля 1977 г.

Литература

- [1] W.S.Shiren. Phys. Rev., B2, 2471, 1970.
- [2] D.R.Taylor, I.J.Bartlet. Phys. Rev. Lett., 30, 96, 1973.
- [3] В.А.Голенищев-Кутузов, Н.К.Соловаров, В.Ф.Тарасов. Письма в ЖЭТФ, 22, 266, 1975.
- [4] J.B.Merry, D.I.Volef. Phys. Rev., B4, 1572, 1971.
- [5] М.П.Петров, Г.А.Смоленский, А.А.Петров, С.И.Степанов. ФТТ, 15, 185, 1973.
- [6] С.А.Зельдович, А.Р.Кессель. ФТТ, 17, 3049, 1975.
- [7] Е.А.Туров, М.М.Куркин, В.В.Николаев. ЖЭТФ, 64, 283, 1973.
- [8] Ю.М.Буньков, Б.С.Думеш. ЖЭТФ, 68, 1161, 1975.
- [9] Е.А.Туров, М.П.Петров. ЯМР в ферро- и антиферромагнетиках. М., изд. Наука, 1969 г.