

Effect of changing threshold conditions (physics, chemistry, biology)

V. N. Strekalov

Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

The effect of changing threshold conditions is arising in non-elastic kinetical and statistical processes at presence of external influences. This effect is caused by growth of number of active particles receiving an opportunity to participate in process, as a result of their interaction with other particles and fields. A consequence of the effect is the non monotonous convergence of a sequence of average rates or others kinetical coefficients describing process. This type of a convergence has a place despite of applicability of the perturbation theory and monotonous convergence of a sequence of probabilities of elementary transitions. Such behaviour of kinetical coefficients means that the influence of transitions in the higher orders of the perturbation theory can be more appreciable, than their influence in the solved lowest orders. Therefore in physical, chemical, biological processes possessing threshold nature small perturbations can be more important than more rough or strong influences.

УДК 537.312

Фононное эхо в высокотемпературных сверхпроводниках, содержащих магнитные ионы

И. В. Плешаков, А. А. Нечитайлов, А. П. Паугурт

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Исследовано фононное эхо в $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $YBa_2Cu_{2,85}Fe_{0,15}O_{7-x}$. Обнаружены особенности температурных зависимостей времени релаксации и амплитуды сигнала, которые могут быть качественно объяснены свойствами материала, связанными с наличием магнитных ионов.

Потенциальное использование высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в технических системах различного назначения требует детального знания магнитных свойств этих соединений, а также возможностей управления ими. Вихревая структура проникающего в образец поля и природа существующих в нем центров пиннинга определяют его магнитное поведение. К многочисленным методам изучения последнего следует отнести и наблюдение фононного (радиочастотного) эха, фактически представляющего собой способ бесконтактного возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний в среде с магнитными вихрями. Показать применимость данной методики к исследованию магнитоакустических свойств ВТСП-материалов, модифицированных наличием магнитных ионов, — цель настоящей работы.

В ВТСП фононное эхо впервые было обнаружено и исследовано в [1, 2], причем уже в [1] указывалось, что механизм возбуждения колебаний в образце радиочастотным (РЧ) полем может отличаться от реализующегося в нормальных металлах и низкотемпературных сверхпроводниках. Далее было показано [3, 4], что

эхо в ВТСП действительно обладает существенными особенностями, и его природа должна быть уточнена. В принципе одной из подсистем сверхпроводника, возбуждаемой РЧ-полем, могла бы стать решетка магнитных вихрей, и в некоторых первых работах по эхо-сигналам вихри даже рассматривались как основные осцилляторы, ответственные за образование отклика. Позднее было установлено, что в основе явления лежит возбуждение акустических колебаний частиц порошкообразного образца, синфазно складывающихся в момент образования эха вследствие упругой нелинейности. В целом это верно и для ВТСП [1, 4]. Однако оказывается, что вихревая подсистема играет важную роль в этих процессах [5, 6], а ее динамика может значительно изменяться в среде, обладающей магнитными свойствами. При переходе в магнитоупорядоченное состояние обычные акустические свойства также могут модифицироваться (обнаружено, например, уменьшение скорости звука в точке Нееля в $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ [7]). Поэтому для экспериментов были выбраны материалы, в которых высокотемпературная сверхпроводимость сосуществует с сильным парамагнетизмом, а

ниже точки Нееля (T_N) — с антиферромагнитным упорядочением подрешетки магнитных ионов.

Среди всех ВТСП, у которых иттрий полностью замещен редкоземельным элементом, наибольшей температурой магнитного перехода ($T_N = 2,2$ К) обладает сверхпроводник с гадолинием [8, 9]. Природа магнитного порядка в железосодержащих материалах типа $YBa_2(Cu_{1-y}Fe_y)O_{7-x}$ до конца не исследована, хотя считается, что при небольших степенях допирования у железом упорядочивается при достаточно высокой температуре с сохранением образцов сверхпроводимости. В ряде работ указывалось на существование антиферромагнетизма с $T_N = 10$ К, причем не исключалось образование отдельных магнитных кластеров. С помощью магнитометрии [10] обнаружено парамагнитное поведение $YBa_2Cu_{2,85}Fe_{0,15}O_{7-x}$ в широком температурном интервале без определенных указаний на возникновение порядка. В то же время мессбауэровская спектроскопия показала [11], что сверхпроводимость в этих веществах сосуществует с антиферромагнетизмом ниже $T_N = 10$ К. Практически везде обращается внимание на ухудшение сверхпроводящих свойств (падение критических токов и снижение T_c) при допировании железом.

Далее, следуя большинству работ, будем считать, что в железосодержащем материале указанного типа существует антиферромагнетизм с $T_N \sim 10$ К. Образец $YBa_2Cu_{2,85}Fe_{0,15}O_{7-x}$ был избран нами в качестве второго объекта исследований как обладающий сильным парамагнетизмом и наибольшей (предположительно) температурой, с которой начинается сосуществование магнитного порядка и сверхпроводимости.

Для наблюдения сигналов эха использовалась обычная в такого рода экспериментах методика [3, 4], принципиально не отличающаяся от методики импульсного ядерного магнитного резонанса. Порошкообразный образец, находящийся для изоляции от акустической нагрузки в запаянной кварцевой ампуле, помещался в постоянное магнитное поле B_0 . На него также воздействовали двухимпульсная последовательность РЧ магнитного поля B_1 , поляризованного в направлении, перпендикулярном B_0 . Несущая частота импульсов составляла 17 МГц, а их длительность — 3 мкс. Временной интервал между импульсами t_{12} регулировался в пределах 30—100 мкс; сигнал эха регистрировался в момент $2t_{12}$ той же катушкой, которая использовалась для возбуждения, и после прохождения усилительного тракта радиоспектрометра наблюдался на осциллографе. Времена релаксации определялись из экспоненциально спадающей зависимости амплитуды эха от t_{12} . Температуру образца можно было изменять от 2 К до комнатной.

Образцы изготавливались из стехиометрических смесей нитрата бария и соответствующих окси-

слов по обычной керамической технологии. После вторичного спекания они измельчались в порошки с размерами частиц порядка нескольких десятков микрон. Готовые материалы проверялись на сверхпроводимость по РЧ-восприимчивости. Образец с гадолинием имел температуру сверхпроводящего перехода около 90 К, начало же перехода у железосодержащего материала было несколько сдвинуто вниз и составляло около 80 К. По данным рентгенофазового анализа, этот образец был однородным и имел тетрагональную структуру, что соответствует литературным данным.

В обоих исследованных веществах наблюдались интенсивные сигналы эха в постоянных полях от 0,3 до 0,8 Т и до температур ~ 40 —50 К. В этой области давление газа в ампуле практически равно нулю, и той частью релаксации, которая связана с акустическим воздействием внешней среды, можно пренебречь. Электрон-фононное рассеяние при этих температурах также становится малым [1]. Следовательно, в релаксацию, с которой мы имеем дело, дают вклад упомянутые в [12] внутренние механизмы рассеяния звука — преобразование мод на границах зерен, влияние примесей и некоторые другие. К ним же, по всей вероятности, должны быть отнесены потери, связанные с движением вихрей (в нашем случае совершающемся в среде с магнитными свойствами).

На рис. 1 приведены температурные зависимости времени релаксации и амплитуды сигнала эха для гадолиниевого образца. Уменьшение T_2 (рис. 1, а) с ростом температуры в $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ происходит значительно быстрее, чем в иттриевом образце при близких экспериментальных условиях [1]. Температурная зависимость амплитуды сигнала показана на рис. 1, б. Обратим внимание, что она весьма значительно отличается от кривой $I(T)$ (I — амплитуда), построенной с учетом $T_2(T)$ (см. рис. 1, а) по известному [12] выражению

$$I = aT_2^4 \exp(-2t_{12}/T_2)[1 - \exp(-2t_{12}/T_2)] \approx \\ \approx aT_2^4 \exp(-2t_{12}/T_2),$$

где a — коэффициент пропорциональности.

В пределах погрешности эксперимента, как видно из рис. 1, явных особенностей, связанных с переходом в магнитоупорядоченное состояние ни для релаксации, ни для амплитуды отметить нельзя (на рис. 1 одна точка расположена ниже T_N).

В железосодержащем образце температурный спад T_2 заметно затянут по сравнению с гадолиниевым (рис. 2, а), однако амплитуда в значительном интервале температур остается практически постоянной, т. е. ее поведение не описывается приведенным выше выражением. Эта аномалия формально может быть объяснена тем, что с повышением температуры растет начальный уровень возбуждения (иначе говоря, РЧ-восприимчивость), достигающий максимума

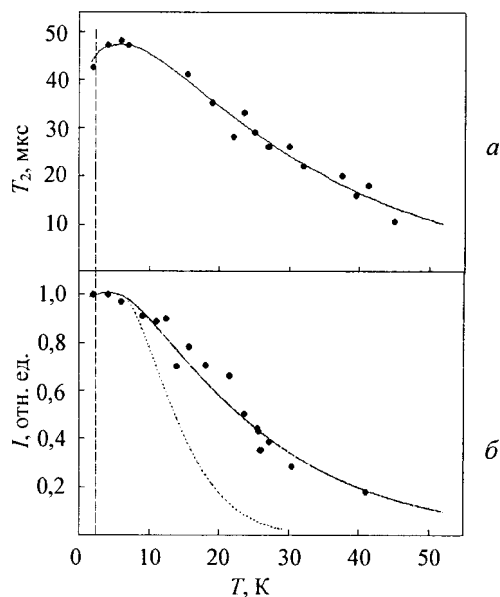


Рис. 1. Температурные зависимости времени релаксации (а) и амплитуды сигнала эха (б) в $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. $B_0 = 0,75 \text{ Т}$:
--- — температура Нееля

при температурах выше гелиевых, хотя природа такого явления и не ясна. Так же, как и в гадолиниевом, в железосодержащем образце не наблюдалось особенностей, связанных с точкой Нееля. Таким образом, оба материала проявляют свою "магнитную" специфику как парамагнетики, и заключается она прежде всего в ускорении релаксации по сравнению с $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, а также в замедлении спада амплитуды эхо-сигнала с температурой. Это кажущееся противоречие объясняется, скорее всего, изменением свойств пиннинга в присутствии магнитных ионов.

Ранее исследовались зависимости амплитуды эха от величины РЧ-поля [2, 3], и было продемонстрировано, что до B_1 порядка $6 \cdot 10^{-3} \text{ Т}$ в иттриевом образце $I \sim B_1^{1/2}$. Такие же измерения выполнены в настоящей работе с $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-y}\text{Fe}_y)\text{O}_{7-x}$, в том числе и при больших B_1 . Из рис. 3 видно, что при высоких значениях B_0 до некоторого значения РЧ-поля амплитуда фоновнного эха растет приблизительно пропорционально $B_1^{1/2}$, а далее начинает падать, т. е. происходит ее нелинейное ограничение. Можно предположить, что в случае $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-y}\text{Fe}_y)\text{O}_{7-x}$ вследствие появления рентгеновским способом неидентифицируемых магнитных включений (например, образования кластеров) или по каким-либо иным причинам коэффициент нелинейности, ответственный за формирование отклика, выше, чем в обычном ВТСП состава 1-2-3. Это также может быть причиной большой интенсивности сигнала даже при достаточно высоких температурах (см. рис. 2, б).

Полевые зависимости амплитуды эхо-сигнала для обоих исследованных веществ качественно одинаковы, и в пределах изученного диапазона полей с хорошей точностью описываются $I \sim B_0^2$

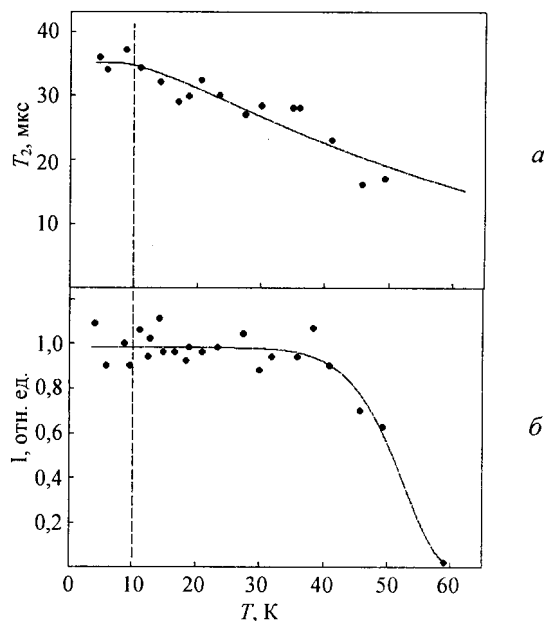


Рис. 2. Температурные зависимости времени релаксации (а) и амплитуды сигнала эха (б) в $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_{7-x}$. $B_0 = 0,75 \text{ Т}$:
--- — температура Нееля

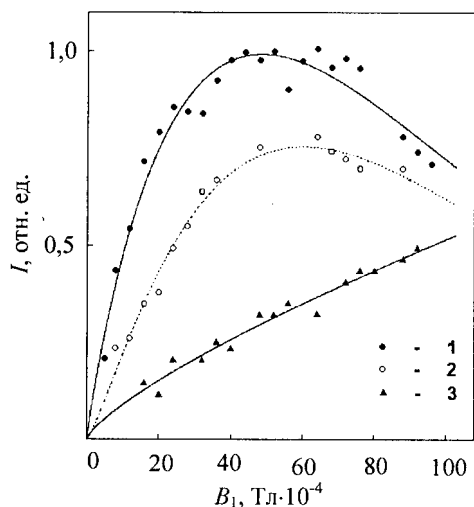


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала в $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_{7-x}$ от амплитуды импульсного РЧ-поля: $T = 4,2 \text{ К}$

(разумеется, эти данные получены до достижения режима нелинейного ограничения). Ранее то же самое наблюдалось для иттриевой и висмутовой керамик [3, 4]. Возможно, в интервале средних полей это является общей закономерностью, характерной для ВТСП-материалов, в то время как расчет по модели, использованной в [12], дает $I \sim B_0^4$. Отметим, что на ходе полевых зависимостей влияние магнитных ионов не должно сказываться заметным образом из-за малости парамагнитной восприимчивости.

Заключение

1. В температурном поведении амплитуды и времени релаксации сигналов эха ВТСП-мат-

риалов, содержащих магнитные ионы, не обнаружено особенностей, связанных с точкой перехода в магнитоупорядоченное состояние.

2. В парамагнитной области скорость релаксации с ростом температуры увеличивается быстрее, чем в обычных ВТСП, при этом спад амплитуды сигнала эха с ростом температуры аномально затянута.

3. В области средних магнитных полей для указанных материалов выполняется квадратичный закон зависимости амплитуды эхо-сигнала от постоянного магнитного поля, что отличается от теоретических предпосылок, построенных ранее для нормальных металлов и низкотемпературных сверхпроводников.

Таким образом, в статье показано, что метод фононного эха является эффективным инструментом исследования нелинейных и других свойств ВТСП, в том числе обусловленных внедрением в материал магнитных ионов, и может быть использован при тестировании этих материалов.

Л и т е р а т у р а

1. Nishihara H., Hayashi K., Okuda Y., Kajimura K. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. № 10. P. 7351.
2. Дробинин А. В., Ципенюк Ю. М. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 10. С. 563.
3. Петров М. П., Дядюшкин Д. В., Иванов А. В., Красинкова М. В., Нечитайлов А. А., Паугурт А. П., Пleshakov И. В. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 10. С. 2363.
4. Petrov M. P., Pleshakov I. V., Paugurt A. P., Krasinkova M. V., Nechitailov A. A., Melech B. T. // Solid. State Commun. 1991. T. 78. № 10. C. 893.
5. Асадуллин Я. Я., Самарцев В. В. // Известия вузов. 1993. Т. 36. № 7. С. 20.
6. Дробинин А. В., Ципенюк Ю. М. // ЖЭТФ. 1997. Т. 111. № 3. С. 1032.
7. Никифоров В. Н., Леонюк Л. И., Мухеев М. Г., Моцалков В. В. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 2. С. 376.
8. Brown S. E., Thompson J. D., Willis J. O., Aikin R. M., Zirngiebl E., Smith J. L., Fisk Z., Schwarz R. B. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. № 4. P. 2298.
9. Ramirez A. P., Schneemeyer L. F., Waszczak J. V. // Ibid. № 12. P. 7145.
10. McGuire T. R., La Place S. J., Boehme R. F., Chivashankar S. A., Keane D. T. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69. № 8. P. 5388.
11. Zhou X. Z., Raudsepp M., Pankhurst Q. A., Morrish A. H., Luo Y. L., Maartense I. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. № 13. P. 7230.
12. Tsuruoka F., Kajimura K. // Ibid. 1980. V. 22. № 11. P. 5092.

Статья поступила в редакцию 28 октября 2004 г.

Phonon echoes in high- T_c superconductors with magnetic ions

I. V. Pleshakov, A. A. Nechitailov, A. P. Paugurt
Ioffe Physico-Technical Institute of RAS, St.-Petersburg, Russia

The phonon echoes in $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $YBa_2Cu_{2.85}Fe_{0.15}O_{7-x}$ have been investigated in this work. The peculiarities in temperature dependencies of the signal relaxation and amplitude were revealed, which can be explained qualitatively by the materials properties, connected with the presence of magnetic ions.

УДК 539.17.01

Влияние возбуждения и ионизации атомов на скорости ядерных процессов

Ф. А. Гареев, И. Е. Жидкова
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
Ю. Л. Ратис

Самарский университет аэрокосмических исследований, г. Самара, Россия

Трансмутация ядер при низких энергиях возможна в рамках современной физической теории — возбуждение и ионизация атомов и универсальная резонансная синхронизация ответственны за это явление — к такому заключению пришли авторы статьи. Изучение этого явления требует знаний в различных областях науки: ядерной и атомной физики, химии и электрохимии, физики конденсированных сред и твердых тел, ... Результаты таких исследований могут обеспечить их новыми источниками энергии, веществ и технологий.

На пресс-конференции 23 марта 1989 г. М. Флейшман и С. Понс сообщили об обнару-

жении ими нового явления в науке — холодного ядерного синтеза при комнатной температуре [1].