

ДОЛГОЖИВУЩЕЕ СТИМУЛИРОВАННОЕ ЭХО В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПОРОШКЕ $YBa_2Cu_3O_x$

А.В.Дробинин, Ю.М.Ципенюк

В сверхпроводящем порошке $YBa_2Cu_3O_x$ в постоянном магнитном поле наблюдались двухимпульсное и стимулированное эхо. Стимулированное эхо наблюдается и через час после выключения возбуждающих импульсов (эффект памяти). Приводятся полевые и температурные зависимости амплитуды эха.

В порошках $YBa_2Cu_3O_x$ с размером ~ 100 мкм и количестве $\sim 10^6$ частиц в сверхпроводящей фазе нами наблюдалось на частоте ~ 20 МГц радиочастотное эхо, частота которого не зависит, в отличие от обычного спинового эха, от постоянного магнитного поля. Такие эхо-сигналы наблюдались ранее на порошках из пьезоэлектриков, нормальных металлов и сверхпроводников второго рода (см. обзор ¹). В недавно полученном нами препринте ² сообщается о наблюдении подобного явления на порошке $YBa_2Cu_3O_x$.

Для наблюдения сигнала эха нами использовалась обычная техника импульсного ЯМР на частотах около 20 МГц. Катушка радиочастотного контура, заполненная порошком $YBa_2Cu_3O_x$ помещалась внутри сверхпроводящего магнита так, чтобы ее ось была перпендикулярна постоянному полю. Контур был расположен внутри стакана, заполняемого газообразным гелием. Температура образца менялась с помощью проволочного нагревателя, расположенного внутри ампулы с образцом, и измерялась полупроводниковым термометром, расположенным там же.

При подаче на резонансный контур с порошком $YBa_2Cu_3O_x$ двух радиочастотных импульсов мощностью ~ 100 Вт и длительностями 5 мкс наблюдается интенсивный сигнал эха. Амплитуда эха увеличивается с ростом магнитного поля, начиная с 3 кЭ, и достигает ~ 5 мВ в поле 24 кЭ (см. рис. 1), что значительно больше амплитуды сигналов ЯМР в этих

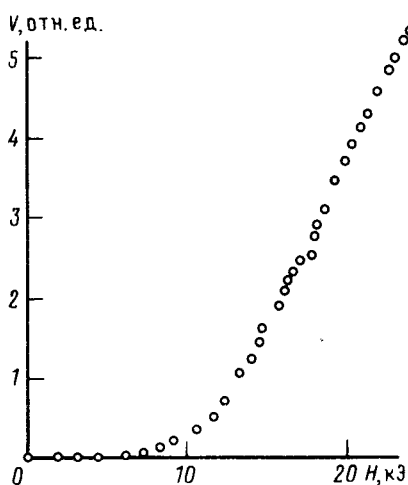


Рис. 1. Зависимость амплитуды двухимпульсного эха от магнитного поля. Температура 4,2 К

соединениях. Амплитуда эха спадает при увеличении задержки τ между возбуждающими импульсами с постоянной времени $T_2 = 30 - 40$ мкс при температуре 4,2 К. При малых задержках между двумя возбуждающими импульсами наблюдалось также второе и третье эхо. Сигнал эха быстро спадает с ростом температуры и существует только в сверхпрово-

дядшей фазе (рис. 2). Сигнал эха обусловлен колебаниями диамагнитных моментов отдельных порошинок, которые наводят ЭДС индукции в ВЧ контуре.

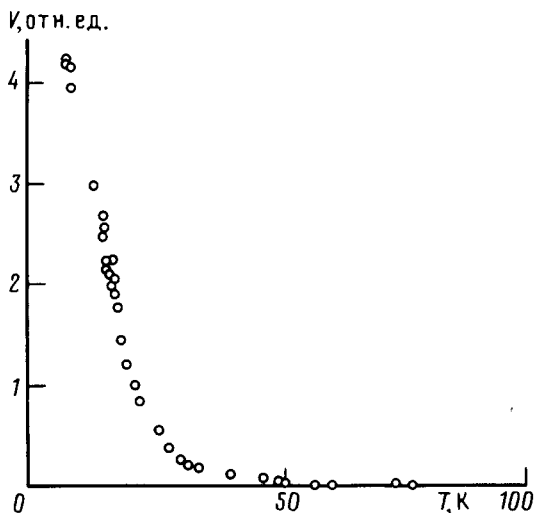


Рис. 2. Температурная зависимость амплитуды двухимпульсного эха в магнитном поле 24 кЭ

Если на ВЧ контур подать третий импульс с задержкой, даже много большей T_2 , наблюдается сигнал стимулированного эха (рис. 3). Сигнал стимулированного эха сохраняется и в том случае, если в этой трехимпульсной последовательности выключить два импульса. При этом амплитуда стимулированного эха в течение нескольких секунд спадает вдвое, а затем практически не меняется, по крайней мере в течение часа. Аналогично во времени происходит и увеличение сигнала стимулированного эха при включении пары возбуждающих импульсов. Таким образом, исследуемая система обладает долговременной памятью о временной последовательности возбуждающих импульсов. Если в процессе накопления изменить задержку τ между записываемыми импульсами, то наряду с ранее записанным сигналом появляется новый. Таким образом при считывании третьим импульсом наблюдается последовательность эха, соответствующих разным задержкам между записываемыми сигналами.



Рис. 3. Осциллограмма сигнала трехимпульсного эха

Долгоживущее стимулированное эхо пропадает при небольших изменениях магнитного поля либо температуры и не полностью восстанавливается при возврате к исходным значениям. Существенное влияние на формирование эха оказывает давление газа (в нашем случае гелия), в котором находится порошок. При увеличении давления от 1 до 10^3 торр амплитуда двухимпульсного эха уменьшается в 10 раз, а стимулированного — в 30 раз,

Зависимость сигнала эха от давления газа свидетельствует о том, что оно обусловлено механическими колебаниями частиц порошка.

Одно из объяснений наличия памяти, наблюдавшейся ранее и в порошках ферритов, пьезоэлектриков, состоит в том, что второй радиочастотный импульс создает макроскопический магнитный момент за счет поворота моментов отдельных частичек к направлению переменного магнитного поля. Наибольшая переориентация происходит у тех частиц, которые к моменту включения второго радиочастотного импульса имеют одинаковую с ним фазу. Поэтому, если на такую систему сориентированных, но уже не колеблющихся частиц подается ВЧ импульс, то после него в моменты времени, кратные τ , частицы будут колебаться синфазно и возникает стимулированное эхо ³.

Как мы уже отмечали, появление эхо в порошке ВТСП связано с механическими колебаниями самих частиц порошка, обладающих замороженным диамагнитным моментом, а не колебаниями вихрей магнитного потока в сверхпроводнике второго рода, как это предполагалось в работе ⁴.

Авторы глубоко признательны А.С.Боровику-Романову, С.П.Капице, В.С.Лутовинову за обсуждение результатов работы, Е.П.Бруенкову за помощь в работе, А.А.Бушу за любезно предоставленные образцы ВТСП керамики.

Литература

1. *Mason W.P., Thurston R.N.* Phys. Acoustics, XVI, chap. 4 – 6, New York – London: Acad. Press, 1982.
2. *Nishihara H., Hayashi K., Okuda Y., Kajimura K.* Tech. rep. of ISSP. Ser. A. № 2005. 1988.
3. *Чабан А.А.* Письма в ЖЭТФ, 1976, 23, 389.
4. *Goldberg I.B., Ehrenfreund E., Weger M.* Phys. Rev. Lett., 1968, 20, 539.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики

Поступила в редакцию
6 апреля 1989 г.