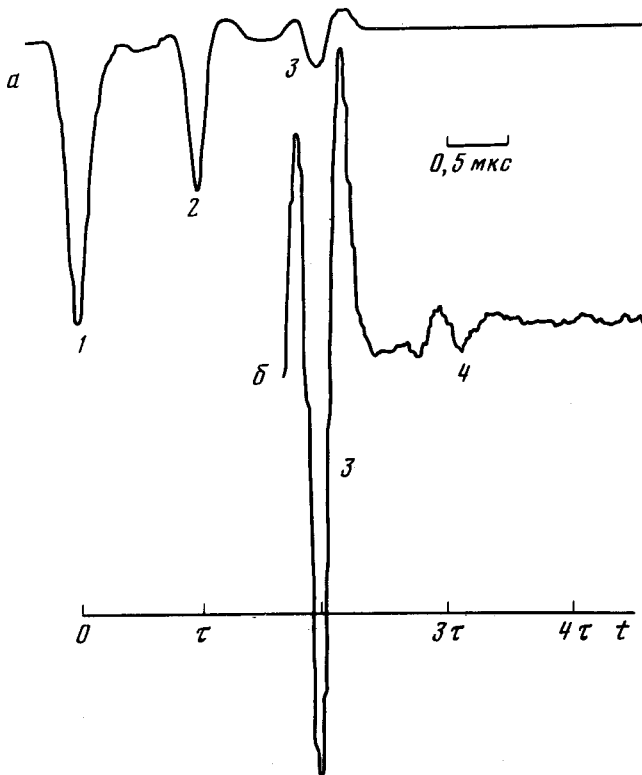


## ВТОРИЧНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ СПИНОВОЕ ЭХО В КВАРЦЕ

И.З.Рутковский, Г.Г.Федорук

Впервые зарегистрировано вторичное эхо в электронной спиновой системе. Предложен акустический механизм формирования этого явления.

Исследование спинового эха в ядерных магнитоупорядоченных системах привело к обнаружению ряда его особенностей [1], не находящих объяснения в рамках традиционной хановской модели. Одним из эффектов, имеющих место в указанных системах, является вторичное (дополнительное) эхо, которое наблюдается вслед за обычным сигналом эха на расстоянии равном величине задержки между возбуждающими импульсами. О наблюдении аналогичных эффектов в других спиновых системах пока неизвестно.



Оциллограммы сигналов спинового эха

В данной работе излагаются результаты наблюдения вторичного эха в системе электронных спинов.

Эксперименты выполнены на кристаллическом кварце с  $E_1'$ -центрами [2], образованными нейтронным облучением и обладающими сравнительно большим временем спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ) даже при комнатной температуре [3]. Пример записи вторичного спинового эха для указанных центров, полученного при 300 К, представлен на рисунке. Формирование сигналов эха 3, 4 осуществлялось импульсами 1; 2 длительностью 200  $\mu\text{сек}$  с интервалом между ними  $\tau = 1,0 \text{ мксек}$ . Напряженность магнитной компоненты СВЧ поля в месте расположения образца составляла около 0,2 э. При записи осциллограммы б усиление регистрирующей системы увеличено в 10 раз по сравнению с записью а. В данных экспериментах сигнал эха регистрировался в форме биений с частотой радиочастотного излучения (9,4 Гц). Объяснить возникновение вторичного эха в наших экспериментах известными механизмами не представляется возможным. В данном случае частотный механизм формирования эха [1] исключается из-за отсутствия у изучаемой системы динамического сдвига частоты. Непригодна также модель, объясняющая дополнительные сигналы эха возбуждением различных переходов в сложном энергетическом спектре [4], поскольку исследуемые парамагнитные центры имеют спин  $S = 1/2$  [2].

Возникновение вторичного эха в нашем случае можно описать следующим механизмом. Первый радиочастотный импульс возбуждает в кристалле акустические волны (фононы). Взаимодействие второго импульса со спиновой системой, состояния которой отражают созданное первым импульсом фононное поле, создает обратные акустические волны. Интерференционное взаимодействие волн, рожденных первым и вторым импульсами, приводит к совпадению фаз составляющих в моменты времени кратные  $\tau$ .

Экспериментально наблюдается обратно пропорциональная зависимость между длительностью импульсов эха и шириной спектра возбуждаемых волн, что согласуется с интерференционной сущностью явления.

Согласно предложенному механизму интерференционная картина должна затухать по закону вида  $\exp(-2t/T_1)[\exp(-\tau/T_1) + 1]^2$ . Для данных центров  $T_1$ , измеренное методом стимулированного эха, составляет около  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ сек}$ . Отличие экспериментально полученного соотношения амплитуд первого и второго импульсов эха от расчетного значения объясняется тем, что при генерации сигнала первичного эха происходит частичный сброс инвертированных спиновых состояний, преобразование при этом энергии фононного поля в электромагнитную и вывод ее из кристалла. Поскольку процесс генерации является пороговым, то наблюдение дополнительных сигналов эха возможно только при превышении остаточным инвертированным состоянием спиновой системы порогового значения. В то же время безызлучательное интерференционное взаимодействие существует в течение времени  $T_1$ , что подтверждается наблюдением стимулированного эха, при котором добавляемая третьим импульсом энергия позволяет превысить порог генерации.

В пользу акустического механизма формирования эха говорит также факт возбуждения эха комбинацией электромагнитного и акустического импульсов [4].

Авторы выражают благодарность А.М.Прохорову за полезные обсуждения.

Научно-исследовательский институт  
прикладных физических проблем

Поступила в редакцию  
21 января 1978 г.  
После переработки  
12 июня 1978 г.

### Литература

- [ 1 ] Ю.М.Буньков, Б.С.Думеш. ЖЭТФ, 68, 1161, 1975.
  - [ 2 ] В.П.Солнцев, Р.И.Машковец, М.Я.Щербакова. Журнал структурной химии, 18, 729, 1977.
  - [ 3 ] D.A.Vozanic, D.Mergerian, R.W.Minarik. Phys. Rev. Lett., 21, 541, 1968.
  - [ 4 ] В.А.Голенищев-Кутузов, А.И.Сиразиев, Н.К.Соловаров, В.Ф.Тарасов. ЖЭТФ, 71, 1074, 1976.
-