

## ВОЗБУЖДЕНИЕ ЯДЕРНОГО СПИНОВОГО ЭХА В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ ВЕЩЕСТВАХ НА СУБГАРМОНИКАХ И КРАТНЫХ ЧАСТОТАХ

*В.И. Дудкин, В.Ю. Петрунькин, В.И. Тарханов*

Описано наблюдение сигналов ядерного спинового эха в литиевых ферритах и тонких кобальтовых пленках, возбуждаемых при  $T = 300\text{ К}$  и в отсутствие внешнего постоянного магнитного поля на частотах, отличных от резонансной.

В поликристаллических образцах литиевых ферритов наблюдались интенсивные сигналы ядерного спинового эха от ядер  $^{57}\text{Fe}$  при возбуждении спиновой системы на субгармониках от второй до девятой включительно. Возбуждающие импульсы подавались на одной из частот ряда: 35; 23,3; 17,5; 14; 11,6; 10; 8,75; 7,8 МГц. Независимо от частоты возбуждения эхо-сигналы всегда наблюдались только на частоте ядерного магнитного резонанса (ЯМР)  $^{57}\text{Fe}$ , равной 70 МГц. Эксперименты проводились как по двухимпульсной, так и по трехимпульсной методике. Значения времен релаксации, измеренные по убыванию амплитуды эхо-сигналов с увеличением интервалов между возбуждающими импуль-

сами, близки к соответствующим значениям для ядерной спиновой системы при резонансном возбуждении, которые составляют:  $T_1 = 8$  мсек,  $T_2 = 1,2$  мсек.

В экспериментах использовались обогащенные изотопом  $^{57}\text{Fe}$  образцы литиевого феррита, которые имели форму колец с внешним диаметром от 10 до 20 мм и с массой от 0,5 до 3 г. Эксперименты проводились при комнатной температуре в отсутствие внешнего магнитного поля. Мощность возбуждающих импульсов составляла порядка 0,1 Вт.

Наибольшая амплитуда эхо-сигналов наблюдалась при возбуждении на третьей субгармонике (23,3 МГц). Амплитуда этих эхо-сигналов сравнима при одинаковой мощности возбуждающих импульсов с амплитудой эхо-сигналов, возбуждаемых на резонансной частоте (70 МГц). С увеличением номера субгармоники амплитуда эхо-сигналов убывает. Ограничение снизу девятой субгармоникой имеет, по-видимому, только аппаратный характер. На рис.1 представлен эхо-сигнал, возбуждаемый двумя импульсами на второй субгармонике (35 МГц).

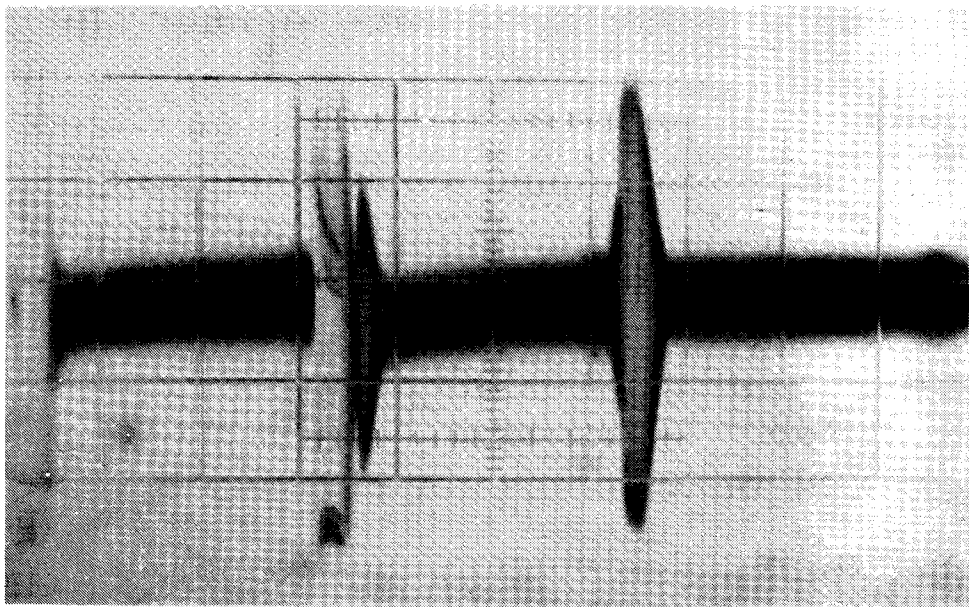


Рис.1. Эхо-сигнал, возбуждаемый в литиевом феррите двумя импульсами на второй субгармонике (35 МГц). Длительность импульсов:  $\tau_1 = 10$  мсек,  $\tau_2 = 16$  мсек. Длительности развертки: 50 мсек/см

На тех же образцах наблюдались эхо-сигналы при комбинированном возбуждении. Один из возбуждающих импульсов подавался на частоте какой-либо субгармоники, а другой (другие) — на частоте ЯМР или на частоте другой субгармоники. Форма эхо-сигналов при возбуждении на субгармониках или при комбинированном возбуждении аналогична форме сигналов обычного ядерного спинового эха. Эхо-сигнал, полученный при комбинированном возбуждении на пятой (14 МГц) и третьей (23,3 МГц) субгармониках представлен на рис.2.

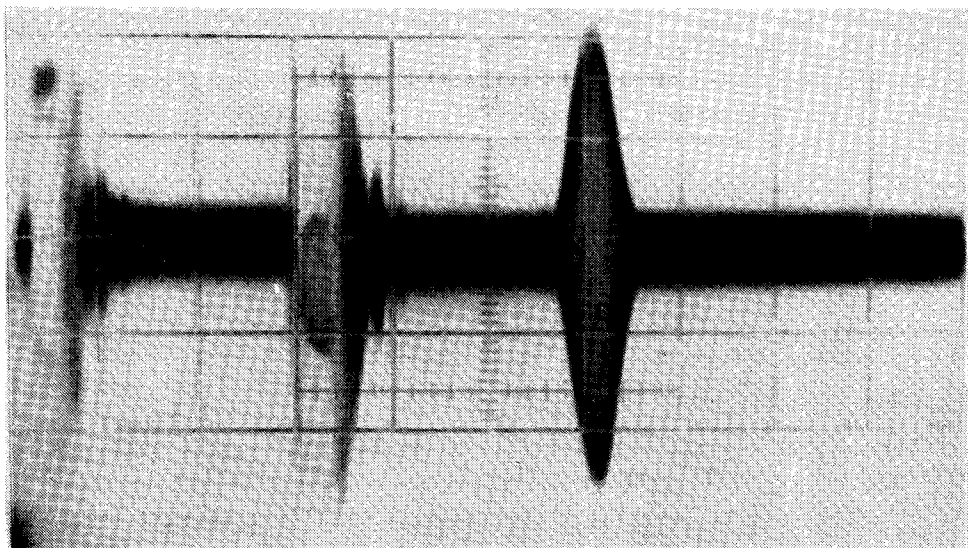


Рис.2. Эхо-сигнал, полученный в литиевом феррите при комбинированном возбуждении на пятой (14 МГц) и третьей (23,3 МГц) субгармониках. Длительность импульсов:  $\tau_1 = 3$  мксек,  $\tau_2 = 4$  мксек. Длительность развертки: 10 мксек/см

Максимальная задержка эхо-сигнала относительно первого импульса при комбинированном возбуждении по трехимпульсной методике, когда первый и третий импульсы подавались на частоте ЯМР (70 МГц), а второй импульс — на частоте третьей субгармоники, составляет 0,1 сек. Отношение сигнал/шум при этом равно трем.

Комбинированное возбуждение эхо-сигналов позволяет совместить управляемую задержку сигнала с умножением по частоте (с преобразованием на частоту ЯМР). Подача задерживаемого сигнала на субгармонике уменьшает ограничения, накладываемые на длительность и мощность обрабатываемого сигнала эффектами насыщения и дает возможность получить воспроизведение формы более длинного сигнала при том же уровне мощности.

С целью проверки общности описываемого эффекта для магнитоупорядоченных веществ аналогичные эксперименты были выполнены на тонких кобальтовых пленках (частота ЯМР 213 МГц). При возбуждении спиновой системы на третьей субгармонике (71 МГц) на частоте ЯМР наблюдались эхо-сигналы, сравнимые по интенсивности с сигналами обычного ядерного спинового эха. Наблюдались эхо-сигналы и при комбинированном возбуждении на частотах 71 и 213 МГц.

Возбуждение ядерной спиновой системы магнитоупорядоченного вещества на кратных частотах также приводит к появлению сигнала ядерного спинового эха. Так, например, нами наблюдались эхо-сигналы в литиевом феррите на частоте 70 МГц при комбинированном возбуждении на частотах 210 и 70 МГц. Однако интенсивность этих эхо-сигналов значительно слабее, чем при возбуждении на субгармониках.

Механизм возбуждения ядерного спинового эха в магнитоупорядоченных веществах на субгармониках и кратных частотах пока не совсем

ясен. По-видимому, он отличается от механизма Хана [1] и от механизма параметрического эха [2, 3], основную роль в котором играет динамический сдвиг частоты. Для выяснения роли параметрических и нелинейных эффектов в этом механизме требуются дополнительные эксперименты.

Ленинградский политехнический  
институт им. М.И.Калинина

Поступила в редакцию  
17 января 1980 г.

### Литература

- [1] E.L.Nahn. Phys. Rev., **80**, 580, 1950.  
[2] Ю.М.Буньков. Письма в ЖЭТФ, **23**, 271, 1976.  
[3] Ю.М.Буньков. С.О.Гладков. ЖЭТФ, **73**, 2181, 1977.
-