

УДК 537.635

Арманд Эбанга (6 курс, каф. КЭ), В.И.Тарханов, к.т.н., доц.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ КОГЕРЕНТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ ОБРАЗЦАХ

**ABSTRACT:** Magnetically ordered substances are complex objects for physical research. They have an electronic spin system, a nuclear spin system, domain walls, acoustic resonances excited through magnetostriction effects, etc. All of them are capable to participate in time-dependent coherent phenomena creation, which are excited and detected through an inductance coil of a resonant circuit. In each case one can distinguish a number of separate mesomorphic isochromatic elements in a sample, which are coherent in their evolution dynamics in spite of differences in their resonant frequencies. There are narrow and wide spreads of such isochromatic elements, which have their peculiarities in excitation and detection of corresponding echo-signals. Here we compare experimentally the two cases on the samples of iron borate and lithium ferrite. In both cases echo is formed in a system of  $^{57}\text{Fe}$  nuclei. Experimental setup, details of experiments, and experimental results are described. The results are of interest as for scientific research and for design of new functional electronics devices and new parallel coherent calculation technologies.

Магнитоупорядоченные вещества представляют собой многоплановые объекты для физических исследований. В то время как электронная спиновая система кристалла обеспечивает ферро-, ферри- или антиферромагнитное упорядочение, спиновая система ядер продолжает оставаться парамагнитной и проявляет свои резонансные свойства в зависимости от величины и ориентации локальных магнитных полей. Многодоменная структура кристаллов и кристаллитов приводит к появлению доменных границ. Их подвижность способствует переносу внешних радиочастотных воздействий на ядра с усилением. Эффекты магнитострикции порождают в образце акустические колебания. В поликристаллических образцах акустические резонансы определяются как размерами кристаллитов, так и размерами пустот между ними. Большой разброс значений этих параметров приводит к широким спектрам резонансных частот.

Приложение к магнитоупорядоченному образцу последовательности импульсов радиочастотного магнитного поля возбуждает в нем многочисленные резонансные колебательные и вращательные процессы различной физической природы. В каждом случае по динамике поведения образец удастся разделить на конечное число мезоморфных изохроматических элементов, распределенных в частотной области. Несмотря на различия в частотах резонанса, в их динамике прослеживаются согласованные (когерентные) детерминированные закономерности, которые приводят к появлениям состояний конструктивной интерференции. Эти состояния отличаются синфазностью, которая способствует детектированию колебаний катушкой индуктивности приемного контура. Они получили название когерентных откликов или эхо-сигналов. Чем шире распределение частот осцилляторов, участвующих в формировании когерентного отклика, тем короче этот отклик во времени. И наоборот, узким распределениям осцилляторов в частотной области соответствуют широкие и слабо выраженные особенности во временной области. Наиболее известными нестационарными когерентными явлениями в магнитоупорядоченных образцах являются сигналы ядерного спинового эха.

В данной работе сравниваются сигналы ядерного спинового эха, формируемые на узких распределениях изохроматических элементов в борате железа и эхо-сигналы, формируемые на широких распределениях изохроматических элементов в поликристаллах литиевого феррита. В обоих случаях сигналы ядерного спинового эха наблюдаются на ядрах

железа-57. Однако резонансные частоты изохромат и ширина их распределения определяются структурой кристаллов, в которых они находятся.

В обоих случаях для возбуждения ядерной спиновой системы используются радиоимпульсы длительностью порядка 0,5 мкс. Ширина распределения изохромат в литиевом феррите составляет 2 МГц, а в борате железа – всего 0,5 кГц. Поэтому в литиевом феррите эхо-сигналы наблюдаются как хорошо выраженные короткие импульсы длительностью также около 0,5 мкс, а в борате железа они представляют собой пьедестал со слабо выраженным максимумом. Такой сигнал трудно выделить по синхронному перемещению его максимума со вторым радиоимпульсом. Единственным способом его наблюдения является возбуждение с расстройкой. Расстройка приводит к появлению биений на огибающей эхо-сигнала, частоту которых можно варьировать. Они позволяют наблюдать эхо-сигнал как некоторое регулярное синусоидальное образование, за смещением которого во времени гораздо удобнее следить. Для повышения отношения сигнал/шум используется фазовое детектирование и когерентное накопление эхо-сигналов.

Узкая линия магнитного резонанса ядер железа-57 в борате железа приводит еще к одной интересной особенности. Неоднородность этой линии реализуется только для слабых возбуждений. При сильных возбуждениях линия ведет себя как однородная, насыщается, и никаких сигналов спинового эха не дает. Поэтому для получения сигналов эха в борате железа требуется уделять особое внимание ослаблению связи канала возбуждения с образцом.

В докладе рассматривается структурная схема экспериментальной установки, на которой проводились исследования, приводятся результаты экспериментов, сравниваются условия возбуждения и регистрации эхо-сигналов на образцах бората железа и литиевого феррита и основные характеристики соответствующих резонансных систем.

Как литиевый феррит, так и борат железа обладают сильными эффектами магнитострикции. Это говорит о том, что наряду с возбуждением ядерной спиновой системы в них возбуждаются и акустические колебания. Механизмы формирования магнитоакустического эха и роль акустических колебаний в возбуждении и формировании сигналов ядерного спинового эха в образцах этих магнитоупорядоченных веществ еще предстоит исследовать.

Заключение. Широкие и узкие распределения независимых осцилляторов в частотном измерении приводят к формированию, соответственно, узких и широких когерентных откликов вещества во временной области. Несмотря на то, что законы их формирования одинаковы, практические методы их возбуждения и регистрации сильно различаются. Выявленные особенности возбуждения и регистрации нестационарных когерентных явлений в магнитоупорядоченных образцах могут быть использованы как в научных исследованиях, так и при разработке новых устройств функциональной электроники и параллельных когерентных вычислительных технологий.