

НЕОДНОРОДНОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЯДЕРНЫХ СПИНОВЫХ ВОЛН

С.А.Говорков, В.А.Туллин

Используя зависимость положения линии антиферромагнитного резонанса от температуры ядерной магнитной системы в $MnCO_3$ исследовано состояние ядерной магнитной системы при различном уровне параметрического возбуждения ядерных спиновых волн. Показано, что дополнительное возрастание запороговой восприимчивости связано с конечным изменением температуры ядерной системы. При этом в широком диапазоне изменения амплитуды поля накачки существует неоднородное распределение ядерной температуры (концентрация ядерных спиновых волн) в образце.

В работе авторов настоящего сообщения [1] было показано, что при большой надкритичности параметрически возбужденные ядерные спиновые волны (ЯСВ) имеют довольно сложное поведение нелинейной восприимчивости. Прежде всего наблюдается пороговое нарастание восприимчивости, которое в работе [1] трактовалось как возбуждение магнитоупругих волн. В данной работе мы изучали поведение температуры ядерной магнитной системы при различной степени параметрического возбуждения ЯСВ. При этом использовалось то обстоятельство, что частота антиферромагнитного резонанса (АФМР) для антиферромагнетиков с сильным сверхтонким взаимодействием зависит от степени насыщенности ядерной магнитной системы [2,3]. В работе Хигера, Портиса и др. [2] было показано, что в антиферромагнитном $KMnF_3$ насыщение ядерного магнитного резонанса (ЯМР) эффективно сказывается на положении линии АФМР. Аналогичное явление в исследуемом в данной работе $MnCO_3$ было подробно изучено в работе [4].

Образец $MnCO_3$ помещался в спиральный резонатор с собственной частотой $f_p \approx 1150$ МГц. Рядом со спиральным резонатором располагалась полоска, возбуждаемая на частоте наблюдения АФМР ($f = 9,43$ ГГц). Исследования проводились при температуре 1,4К.

На рис.1 представлена серия кривых поглощения при АФМР для различных значений мощности возбуждения ЯСВ на частоте 1150 МГц. При уровне мощности выше порога параметрического возбуждения ЯСВ наблюдается небольшое смещение линии АФМР (сравните кривые $- \infty$ и $- 19,2$ дБ). При превышении второго порога (после дополнительного нарастания запороговой восприимчивости ЯСВ) линия АФМР резко уширяется и приобретает дублетную структуру. Одна из линий соответствует старому положению АФМР, а другая, более широкая, смещена в большее магнитное поле ($-15,7$, -15 дБ). Дальнейшее увеличение мощности приводит к перекачке всей интенсивности АФМР в смещенную линию и

к движению смещенной линии в большее магнитное поле (10 дб). Следующий этап увеличения мощности приводит к сужению линии АФМР и стабилизации ее положения (кривая - 2 дб).

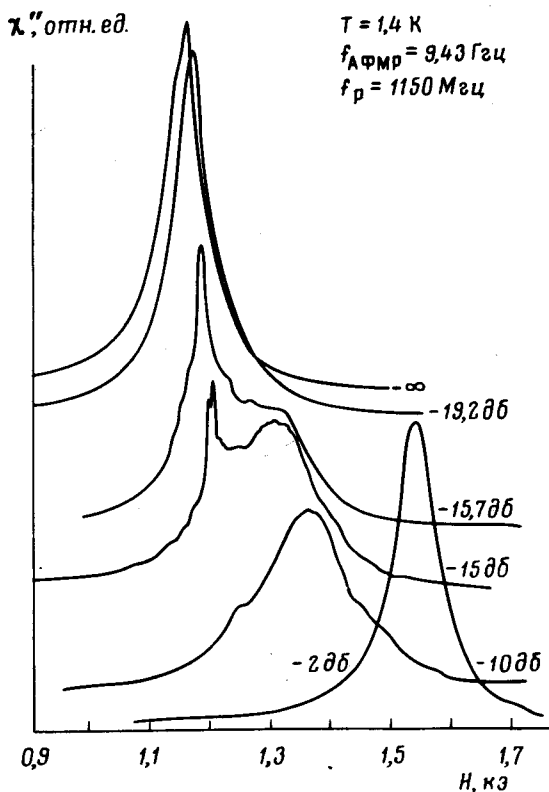


Рис. 1. Кривые поглощения в образце MnCO_3 при антиферромагнитном резонансе для различных уровней мощности, возбуждающей ядерные спиновые волны. 0 дб соответствует одному ватту на частоте 1150 МГц (амплитуда поля $\tilde{h} = 40 \text{ э}$)

Параллельно с изучением температуры ядерной системы проводилось наблюдение запороговой восприимчивости в системе параметрически возбужденных ЯСВ. На рис. 2 представлена мнимая часть восприимчивости на частоте 1150 МГц для двух значений мощности. Нижняя кривая отвечает возбуждению ЯСВ при небольших уровнях мощности и соответствует слабому смещению положения линии АФМР. Верхняя кривая представляет собой $\chi''(H)$ для мощности выше второго порога. Широкой линии АФМР в промежуточном положении отвечает состояние с восприимчивостью слева от максимума, обозначенного стрелкой. При увеличении мощности накачки этот максимум смещается в меньшее магнитное поле [1]. Когда положение максимума достигает значения поля смещенной линии АФМР, она сужается и положение ее стабилизируется.

Наблюдаемое на эксперименте уширение АФМР показывает, что при мощности выше второго порога в образце возникает неоднородное по пространству распределение температуры ядерной магнитной системы (или неоднородная концентрация параметрически возбужденных ЯСВ).

Спектр ЯСВ в $MnCO_3$ описывается следующим соотношением [5]

$$f_{nk}^2 = f_{n0}^2 \left(1 - \frac{\gamma_e^2 H_{\Delta_0}^2 / T'}{\gamma_e^2 [H(H + H_D) + H_{\Delta_0}^2 / T'] + v^2 k^2} \right), \quad (1)$$

где знаменатель представляет собой спектр низкочастотной ветви антиферромагнитных спиновых волн, γ_e — магнитомеханическое отношение для электрона, $H_D = 4,4$ кэ эффективное поле Дзялошинского, H — внешнее магнитное поле, $H_{\Delta_0}^2 / T'$ — щель в спектре АФМР, проистекающая из-за сверхтонкого взаимодействия, ($H_{\Delta_0}^2 = 5,8$ кэ²·к), T' — температура ядерной магнитной системы, $f_{n0} = 640$ мГц — частота ЯМР в отсутствие динамической связи, v — скорость антиферромагнитных спиновых волн, k — волновой вектор.

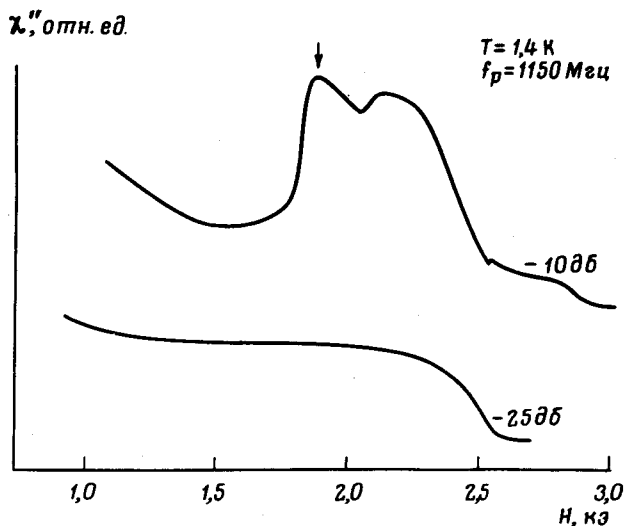


Рис.2. Зависимость запороговой восприимчивости ядерной магнитной системы $X''(H)$. Кривая -20 дб соответствует возбуждению ядерных спиновых волн с малой амплитудой. Кривая $-7,6$ дб соответствует возбуждению спиновых волн до уровня выше дополнительного возрастания восприимчивости (масштаб по X'' не выдержан)

При параметрическом возбуждении ЯСВ для малых уровней мощности это уравнение описывает связь волнового вектора возбуждаемой спиновой волны с внешним магнитным полем при $f_{nk} = f_p / 2$. При достаточно большом уровне мощности, когда велико число возбужденных ЯСВ ($T' \neq T_{\text{ванны}}$) и при определенном значении магнитного поля, это уравнение дает связь температуры ядерной системы T' с волновым вектором k . В отличие от ЯМР ($K = 0$), где имеется всего одно значение

T' , удовлетворяющее этому уравнению в каком-то заданном поле, меньшем поля ЯМР, для ЯСВ это уравнение представляет собой функциональную связь T' и k . Реализация того или иного состояния в системе ЯСВ будет определяться величиной мощности накачки и поведением скорости релаксации ЯСВ η на множестве значений T' и k связанных уравнением (1).

Скорость релаксации ЯСВ в $MnCO_3$, определенная в [6] имеет вид

$$\eta = akT \quad (2)$$

для температуры меньше 3 К, где a — некоторая константа. Если положить, что $T \equiv T'$ в уравнении (2), то величина η для значений T' и k ,

связанных уравнением (1), имеет максимум при $k = \frac{\sqrt{\gamma_e^2 H(H + H_D)}}{v}$

(или при соответствующем ему T'). Дальнейшее уменьшение k из-за нагрева системы будет приводить к уменьшению скорости релаксации, что в некоторый момент вызовет лавинообразное нарастание числа ЯСВ. Ядерная магнитная система перейдет при этом в новое состояние с большим значением температуры, определяемой мощностью облучения образца. Это соответствует второму порогу при параметрическом возбуждении ЯСВ [1]. При этом, если мощность накачки недостаточна для нагрева ядерной магнитной системы до температуры T' , соответствующей минимальной скорости релаксации во всем образце, возникает неоднородное распределение ядерной магнитной температуры.

Для значений магнитного поля $2H_p(H_p + H_D) > 2H(H + H_D) > H_p(H_p + H_D)$, где H_p — поле ЯМР на частоте $f_p/2$ увеличение температуры ядерной системы (с уменьшением волнового вектора согласно связи в уравнение (1)) приводит к монотонному уменьшению скорости релаксации ЯСВ. В этом диапазоне полей состояние системы определяется только мощностью облучения, процесс развивается непрерывно.

Таким образом, проведенное наблюдение ядерной спиновой температуры при параметрическом возбуждении ЯСВ показало, что второй порог, наблюдаемый в [1], соответствует конечному изменению температуры ядерной спиновой системы. При этом волновой вектор ЯСВ уменьшается и попадает на спектре в область пересечения с фоновными ветвями, приводя к характерному поведению восприимчивости. В большом диапазоне изменения амплитуды переменного поля существует пространственно-неоднородное распределение температуры. Какое оно, статическое или динамическое, пока не ясно.

Литература

- [1] С.А.Говорков, В.А.Тулин. ЖЭТФ, 70, 1876, 1976.
 - [2] A.J.Heeger, A.M.Portis, Dale T. Teaney, G.Witt. Phys. Rev. Lett., 7, 307, 1961.
 - [3] P.G. de Gennes, P.Pincus, F.Hartman-Boutron, T.M.Winter. Phys. Rev., 129, 1105, 1963.
 - [4] В.А.Тулин. ЖЭТФ, 55, 831, 1968.
 - [5] Е.А.Туров, В.Т.Кулеев. ЖЭТФ, 49, 248, 1965.
 - [6] С.А.Говорков, В.А.Тулин. ЖЭТФ, 73, 1053, 1977.
-