

СОЛИТОНЫ В СВЯЗАННОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО CsMnF₃

С.А.Говорков, В.А.Тулин

В антиферромагнетике с сильно связанными ядерной и электронной магнитными системами CsMnF₃ в области бистабильности наблюдалась узкая линия излучения на частоте промежуточной между собственными частотами устойчивых состояний. Предполагается, что эта линия соответствует солитонам в неравновесной системе ядерных спиновых волн.

В гексагональном антиферромагнетике CsMnF₃ ($T_N = 53$ К) за счет сильной динамической связи между ядерной магнитной и электронной магнитоупорядоченными системами возникает низкочастотная ветвь элементарных возбуждений, описываемая выражением^{1, 2}

$$\omega_n^k = \omega_{n0} \left[1 - \frac{2\gamma^2 H_E H_N}{\gamma^2 (H^2 + 2H_E H_N) + v^2 k^2} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где ω_{n0} – частота ядерного магнитного резонанса в сверхтонком поле электронной системы в отсутствие динамической связи ($\omega_{n0} = 666$ МГц), H_E – эффективное обменное поле, γ – магнитомеханическое отношение для электронной системы, H_N – эффективное поле, создаваемое ядерной магнитной системой за счет сверхтонкого взаимодействия на антиферромагнитных подрешетках, H – внешнее магнитное поле и $v^2 k^2$ – пространственно дисперсионный член антиферромагнитной системы. Эффективное поле H_N – прямопропорционально средней намагниченности ядерной системы. Эта величина легко меняется при насыщении ядерной системы высокочастотным магнитным полем, что обуславливает сильную нелинейность этой ветви спектра. Подробные исследования связанных электронно-ядерных магнитных систем были выполнены одним из авторов³ на примере антиферромагнитного MnCO₃. Основные явления, связанные с нелинейностью, состоят в следующем.

1. Под действием высокочастотного поля, насыщающего ядерный магнитный резонанс на частоте в диапазоне $\omega_n^0 < \omega < \omega_{n0}$, система может находиться в двух устойчивых состояниях. Одно из этих состояний отвечает малым уровням мощности, когда $\langle m \rangle \approx \langle m \rangle_T$, $\langle m \rangle_T$ – средняя намагниченность, равновесная при данной температуре. Частота ядерного резонанса задана внешними условиями и обычно не равна частоте возбуждающего поля. Другое состояние (большая мощность) – имеется насыщение ядерной магнитной системы до уровня $\langle m \rangle_\omega$, соответствующего решению уравнения (1) при условии $\omega_n^0 \approx \omega$ (с точностью до ширины линии), ($\omega_n^0 \equiv \omega_n^k$ при $k = 0$).

2. В некотором диапазоне насыщающей мощности система бистабильна, т. е. она может находиться в любом из двух состояний, описанных выше, в зависимости от предыстории, или даже разбивается на домены различных состояний.

В работе ⁴ мы показали, что переход из ненасыщенного состояния в насыщенное можно осуществлять при параметрическом возбуждении ядерных спиновых волн с $k \neq 0$ (ЯСВ) (1) параллельной накачкой. В этом случае насыщение осуществляется нерезонансным образом через систему ЯСВ, оно более косвенное, и, как нам кажется, более управляемое. То или иное стационарное состояние и переход между ними в этом случае определяется тонкостями поведения релаксации ЯСВ и их спектра.

В CsMnF_3 этот процесс может происходить как непрерывно, когда средняя ядерная намагниченность при изменении мощности накачки меняет свое значение от $\langle m \rangle_T$ до $\langle m \rangle_\omega$ и наоборот непрерывным образом, так и скачкообразно, с гистерезисом. Характер этого процесса зависит от направления внешнего магнитного поля в базисной плоскости образца (CsMnF_3 имеет гексагональную симметрию).

Мы изучали спектр излучения образца в области минимальной накачки, при которой еще существует насыщенное состояние ядерной намагниченности ($\langle m \rangle \approx \langle m \rangle_\omega$). Наблюдение осуществлялось при температуре 1,24 К, в магнитном поле $H = 3,2$ кЭ. Образец CsMnF_3 , представляющий собой прямоугольный параллелепипед ($3 \times 2 \times 1$), помещался в спиральный резонатор, в котором возбуждалось магнитное поле накачки на частоте $f_p = 1126$ МГц. Перпендикулярно виткам спирального резонатора вокруг образца располагалась катушка, принимающая излучение из образца на частоте вблизи $f_p/2$. Эта катушка посредством коаксиального кабеля соединялась или со спектраллизатором, или с измерителем амплитудно-частотных характеристик. В первом случае наблюдался спектр излучения из образца вблизи $f_p/2$, во втором контролировалось положение и форма линии ЯМР ($k = 0$). Внешнее магнитное поле создавалось электромагнитом. Постоянное магнитное поле, поляризация магнитного поля накачки и поляризация поля, принимаемого катушкой, располагались в горизонтальной плоскости, ось шестого порядка образца была вертикальна.

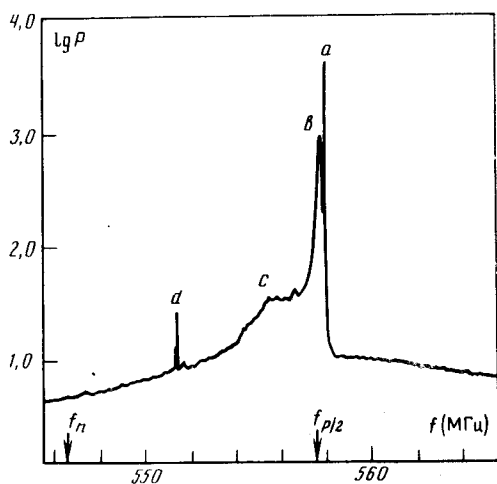


Рис. 1

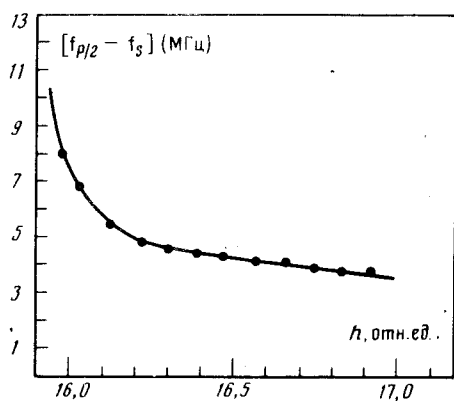


Рис. 2

Рис. 1. Спектр излучения из образца в условиях параллельной накачки на частоте 1126 МГц в области существования линии d

Рис. 2. Зависимость частоты излучения линии d (рис. 1) от амплитуды поля накачки

На рис. 1 изображен спектр излучения из образца на частоте вблизи $f_p/2$ при приближении к критической мощности восстановления намагниченности ядерной системы от значения $\langle m \rangle_\omega$ к значению $\langle m \rangle_T$. Если $(2\pi f_p/2) \neq \omega_n^0$, то излучение наблюдается только из системы в перегретом состоянии $\langle m \rangle < \langle m \rangle_T$. При внешних условиях, соответствующих рис. 1, и в

некоторой окрестности спектр излучения наиболее богат. Просто интерпретировать линию (a), соответствующую частоте $f_p/2$. Она отвечает излучению параметрически возбуждаемых магнонов с волновым вектором $k \approx 0$. Излучение на других частотах может быть связано с областями кристалла с изменяющейся во времени средней ядерной намагниченностью, либо за счет флуктуации, либо за счет движения в пространстве области с отличающейся от $\langle m \rangle_\omega$ намагниченностью. К флуктуационной части можно отнести области излучения (b) и (c). В данной работе мы обращаем внимание на линию (d).

В отличие от линии излучения (b) и (c) линия (d) имеет малую ширину по частоте. По крайней мере она порядка 30 кГц, что соответствует полосе пропускания спектрального анализатора. Частота излучения линии (d) зависит от мощности накачки (рис. 2). При максимальной мощности существования этой линии она возникает на левой стороне линии (c). Затем с уменьшением мощности частота излучения также уменьшается и линия (d) непрерывным образом движется к положению несмещенной линии ЯМР ($\langle m \rangle = \langle m \rangle_T$). При переходе ядерной системы к равновесному с решеткой состоянию линия (d) исчезает.

Таким образом, при параллельной накачке ядерных спиновых волн вблизи критической мощности восстановления ядерной намагниченности до значения, равновесного с решеткой $\langle m \rangle_T$ в CsMnF_3 существуют области (или одна область), излучающие магнитное поле в виде узкой изолированной линии на частоте между ω_n^0 и $\omega_p/2$. Частота этого излучения зависит от мощности накачки. Эти области могут представлять участки кристалла с величиной ядерной намагниченности, большей $\langle m \rangle_\omega$. Собственная частота их может определяться или намагниченностью, промежуточной между $\langle m \rangle_\omega$ и $\langle m \rangle_T$, изменяющейся при изменении мощности накачки, или линейными размерами областей (за счет пространственной дисперсии), также меняющимися с мощностью. Оба эти представления в совокупности с экспериментальными чертами линии (d) дают возможность предположить о солитонном характере объекта, ответственного за это излучение ⁵.

Литература

1. de Gennes P.G., Pincus P., Hartmann-Boutron F., Winter J.M. Phys. Rev. 1963, 129, 1105.
2. Welsh L.B. Phys. Rev., 1967, 156, 370.
3. Тулин В.А. ЖЭТФ, 1968, 55, 831.
4. Говорков С.А., Тулин В.А. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 345.
5. Косевич А.М. ФММ, 1982, 53, 420.

Институт проблем технологии микроэлектроники
и особо чистых материалов
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 ноября 1986 г.