

# ИЗЛУЧЕНИЕ СУБГАРМОНИКИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНЫХ СПИНОВЫХ ВОЛН

*С.А.Говорков, В.А.Тулин*

Обнаружено излучение на частоте равной половине частоты накачки в антиферромагнетике  $\text{MnCO}_3$  при возбуждении методом параллельной накачки ядерных спиновых волн и связанных с ними фононов.

Параметрическое возбуждение спиновых волн методом параллельной накачки отвечает процессу распада фотона микроволнового поля на две спиновые волны. При этом должны выполняться законы сохранения энергии и импульса

$$\omega_p = \omega_{1k} + \omega_{2k},$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2.$$

Если мы возбуждаем спиновые волны одной ветви (вырожденный процесс) и пренебрегаем волновым вектором фотона, то равенства упрощаются

$$\omega_p = 2\omega_k,$$

$$\bar{\mathbf{k}}_1 = -\bar{\mathbf{k}}_2 = \bar{\mathbf{k}}.$$

При этом в образце существуют колебания намагниченности на частоте  $\omega_p/2$ . Поскольку обычно возбуждаются волновые вектора  $|\mathbf{k}| > l/l$ , где  $l$  – характерный размер образца, то трудно ожидать заметного излучения образцом электромагнитного поля на частоте  $\omega_p/2$ . Его можно ожидать, либо в случае однородной прецессии, либо в случае наличия механизма преобразования возбуждаемых спиновых волн в однородную прецессию ( $|\mathbf{k}| = 0$ ). Картина развития параметрического возбуждения в  $\text{MnCO}_3$  исследовалась в работе авторов [1].

Параметрическое возбуждение осуществлялось по методике изложенной в [1, 2]. Образец помещался в спиральный резонатор (в данном измерении на частоту 1175 МГц). Спиральный резонатор был изготовлен из медной проволоки диаметром 0,4 мм, диаметр спирали 5 мм. Спираль с помощью пенопластового держателя помещалась в медную трубку диаметром 10 мм. К трубке подводились коаксиалы. Связь со спиральным резонатором осуществлялась штырями, которыми подводились к торцам спирали. Для приема излучения рядом со спиралью размещался виток (плоскость витка вертикальна, и параллельна оси спирали, ось спирали горизонтальна). Виток входил в качестве индуктивности в перестраиваемый контур (частота 500 – 700 МГц). Сигнал с контура выводился и поступал на приемник нужного диапазона. Прямое влияние цепи накачки на приемник в контрольных экспериментах обнаружено не было.

$\text{MnCO}_3$  представляет собой антиферромагнетик с анизотропией типа легкая плоскость со слабым ферромагнетизмом [3]. При горизонтальном расположении легкой плоскости образца и статическом магнитном поле параллельном оси спирали реализуется ситуация параллельной накачки и приема колебаний намагниченности на частоте субгармоники в легкой плоскости (плоскости максимальной восприимчивости антиферромагнитной системы).

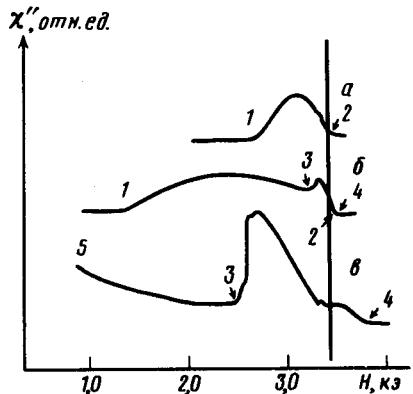


Рис. 1. Несколько характерных зависимостей  $\chi''(H)$ , которые наблюдаются при параллельной накачке. Кривая *a* – в интервале (1, 2) возбуждаются ядерные спиновые волны. Кривая *b* – в интервале (1, 3) возбуждаются одни ядерные спиновые волны, в интервале (3, 4) дополнительно возбуждаются магнитоупругие волны. Кривая *c* – интервал (5, 3) перегретые ядерные спиновые волны, (3, 4) развитый процесс возбуждения магнитоупругих волн

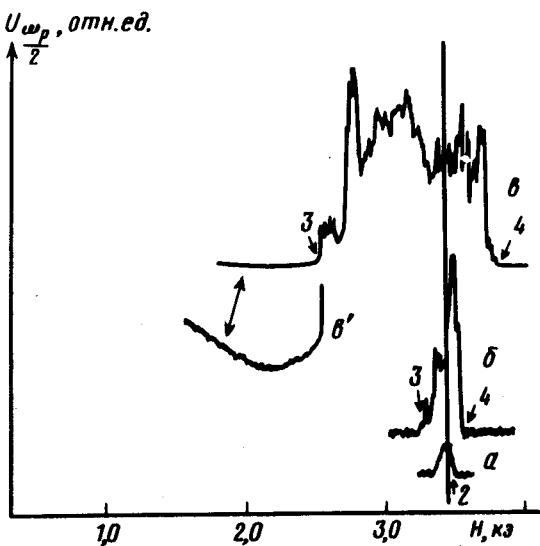


Рис. 2. Соответствующая рис. 1 амплитуда излучения субгармоники (частота  $f = 587,5 \text{ мГц}$ ). Обозначения кривых и интервалов те же что и на рис. 1. Кривые *a*, *b*, *c* – входное затухание приемника 0 дБ, *c* – 20 дБ.

На рис. 1 представлены характерные кривые поглощения в резонаторе с образцом при параллельной накачке. Кривая *a* соответствует возбуждению ядерных спиновых волн в диапазоне существования поглощения (интервал 1, 2). Кривая *b* соответствует помимо возбуждения в интервале (1, 2) ядерных спиновых волн еще возбуждению магнитоупругих волн в интервале (3, 4). Кривая *c* соответствует хорошо развитому процессу возбуждения магнитоупругих волн в интервале (3, 4), в

интервале (3, 5) уже произошла тепловая неустойчивость в ядерной магнитной системе [4].

На рис. 2 изображено продетектированное приемником излучение на частоте  $f_p/2$  для аналогичных рис. 1 состояниям относительно параметрического возбуждения. При возбуждении ядерных спиновых волн излучение наблюдается только вблизи  $k = 0$ , т. е. в магнитном поле отвечающем положению ядерного магнитного резонанса на частоте  $f_p/2$ . Возбуждение достаточно больших  $k$  ( $\gtrsim 5 \cdot 10^4$  см $^{-1}$ ) не сопровождается заметным излучением субгармоники. Возбуждению магнитоупругих волн (кривая б) соответствует излучение во всем интервале возбуждения. В этом случае оно носит неравномерный характер (глубоко промодулировано низкочастотным шумом с характерной частотой порядка  $10 + 100$  Гц). При столь несовершенном приеме (низкий коэффициент заполнения) излучаемая мощность достигает величин  $10^{-8}$  Вт.

В случае большей мощности (кривая в) излучение значительно более слабое наблюдается и в области существования перегретой ядерной системы под действием параллельной накачки.

Таким образом при параметрическом возбуждении квазичастиц в области существования ядерных спиновых волн имеют место излучение субгармоники. Оно происходит при волновых векторах возбуждаемых квазичастиц  $k \lesssim 5 \cdot 10^4$  см $^{-1}$ . Для чистых спиновых волн это реализуется в диапазоне поглощения при ЯМР на частоте  $f_p/2$ . Волновой вектор магнитоупругих волн так же порядка  $2\pi f_p/s \approx 10^4$  см $^{-1}$ , где  $s$  — скорость звука. А при возникновении перегревной неустойчивости волновой вектор также уменьшается до этих величин [4]. Если сопоставить с шириной линии ЯМР характерный волновой вектор внутрикристаллических неоднородностей, то оценки дают тот же порядок величины  $k \approx 10^4$  см $^{-1}$ . Как было показано в работе Истмана [5], для RbMnF<sub>3</sub> эта неоднородность определяется неоднородными деформациями в кристалле, связанными с его дефектной структурой. Можно предположить, что преобразование квазичастиц с волновыми векторами этого диапазона в однородные колебания намагниченности осуществляется на неоднородностях магнитной структуры образца, возникающих вследствие дефектной структуры кристалла.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
21 марта 1981 г.

### Литература

- [1] С.А.Говорков, В.А.Тулин. ЖЭТФ, 70, 1876, 1976.
- [2] С.А.Говорков, В.А.Тулин. ЖЭТФ, 74, 389, 1978.
- [3] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 45, 64, 1963.
- [4] С.А.Говорков, В.А.Тулин. Письма в ЖЭТФ, 27, 345, 1978.
- [5] D.E.Eastman. Phys. Rev., 156, 645, 1967.