

*Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 4, стр. 225 – 229*

*20 февраля 1974 г.*

## **НАБЛЮДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ**

*Б.Я. Котюжанский, Л.А. Прозорова*

На торце монокристалла антиферромагнитного  $\text{CsMnF}_3$  параметрически возбуждались пары электронных и ядерных спиновых волн. Обнаружено распространение электронных спиновых волн вдоль образца на длину  $\sim 3$  мм. Оценено время жизни распространяющихся спиновых волн  $\tau_0 \sim 2$  мксек.

В последнее время было обнаружено, что в антиферромагнетиках при определенных условиях возможно параметрическое возбуждение

магнонов электронной —  $e$  и ядерной —  $n$  спиновых систем внешним СВЧ полем [1 — 3]. При этом, в зависимости от условий возбуждения, один СВЧ фотон  $p$  распадается на пару магнонов с сохранением энергии и квазиимпульса в трех различных комбинациях  $e + e$ ,  $e + n$  и  $n + n$ . Этим методом можно возбуждать  $e$ -магноны с волновым вектором  $k$  от 0 до  $\sim 10^6$   $см^{-1}$ . Из результатов работы [4] следует, что скорость релаксации  $\Delta\nu$   $e$ -магнонов в легкоплоскостном антиферромагнетике  $CsMnF_3$  быстро падает при понижении температуры и при температуре  $T = 1,2^\circ K$  составляет  $\sim 0,1$   $Мгц$ . Длина свободного пробега, соответствующая времени жизни  $\tau = 1/2\pi\Delta\nu \sim 1$   $мксек$  и скорости распространения  $v = \partial\omega/\partial k \sim 10^5$   $см/сек$  для  $k \sim 10^5$   $см^{-1}$ , сравнительно велика ( $\sim 1$   $мж$ ). Исходя из этого нам представлялось интересным и возможным поставить эксперимент, в котором можно наблюдать распространение по образцу  $e$ -магнонов с волновым вектором  $k \sim 10^5$   $см^{-1}$ .

В методическом отношении эксперимент можно разбить на две части: возбуждение магнонов на одном конце и регистрация их появления на другом конце достаточно протяженного образца.

Первая часть не представляет в настоящее время труда и легко осуществляется с помощью параметрического возбуждения. Что касается второй части, то сразу заметим, что наиболее прямой и напрашивающийся метод регистрации магнонов по переизлучению ими СВЧ связан с определенными трудностями, поскольку магноны с волновым вектором  $k \sim 10^5$   $см^{-1}$  практически не взаимодействуют с электромагнитным полем. Примененный нами метод регистрации основан на ранее обнаруженном эффекте жесткого возбуждения  $e$ -магнонов в антиферромагнетиках, который является, по-видимому, следствием уменьшения порога параметрического возбуждения при увеличении числа магнонов  $n_k$  [5].

В экспериментах использовалась установка состоящая из двух СВЧ спектрометров. Резонаторные ячейки, представляют собой высокодобротные цилиндрические резонаторы с колебаниями типа  $H_{011}$ , имеющие общее дно толщиной 2,5  $мм$ , в котором было просверлено отверстие диаметром 2  $мм$  (рис. 1). В отверстие вклеивался клеем БФ-4 монокристаллический образец  $CsMnF_3$  цилиндрической формы, длиной  $\sim 5$   $мм$  и диаметром  $\sim 2$   $мм$  таким образом, чтобы он выступал одинаково в обоих резонаторах. Главная ось образца совпадала с осью цилиндра. Резонаторы были расположены таким образом, что образец находился в каждом из них в пучности магнитного поля СВЧ, и эти поля были параллельны внешнему статическому полю и лежали в базисной плоскости образца. В остальном, спектрометры были аналогичны подробно описанным в [6].

Эксперименты проводились при температуре  $T = 1,2^\circ K$ . Для развязки резонаторов по СВЧ мы воспользовались тем, что одинаковые магноны  $e$  можно возбуждать на разных частотах накачки при  $p \rightarrow e + n$ ,  $p \rightarrow e + e$  процессах.

Закон сохранения энергии приводит к следующим условиям для частот в этих процессах, соответственно:

$$\nu_p = \nu_k^e + \nu_k^n, \quad (1)$$

$$\nu_p = 2\nu_k^e, \quad (2)$$

где

$$\nu_k^n = \nu_k^0 \left( 1 - \frac{\gamma^2 H \Delta^2}{(\nu_k^e)^2} \right)^{1/2}; \quad \nu_k^0 = 0,666 \text{ ГГц} [7] \text{ —}$$

несмещенная ядерная частота ионов  $\text{Mn}^{++}$ ,  $H \Delta^2 = (6,4/T) \text{ кэ}^2 [8]$  — щель в спектре электронных спиновых волн, обусловленная сверхтонким взаимодействием,  $\gamma = 2,8 \text{ ГГц/кэ}$  — гиромангнитное отношение (значения констант указаны для  $\text{CsMnF}_3$ ).

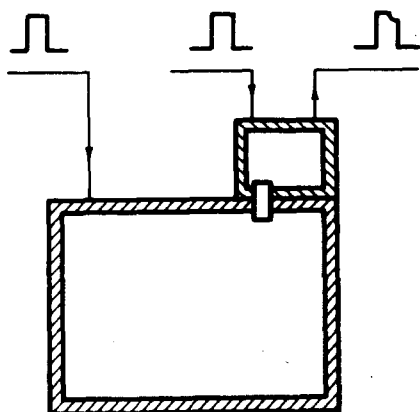


Рис. 1. Схематическое изображение резонаторных ячеек СВЧ спектрометров

На возбуждающий резонатор подавался прямоугольный СВЧ импульс  $P_1$  частоты  $\nu_{1p} = 9,47 \text{ ГГц}$  и в нем в соответствии с (1) генерировались  $e$ -магноны с частотой  $\nu_k^e = 9,00 \text{ ГГц}$ . Максимальная достижимая в экспериментах мощность импульса  $P_{1max}$ , превышала пороговую мощность  $p \rightarrow n + e$  процесса на  $\sim 15 \text{ дб}$ .

На приемный резонатор через время  $\tau$  после конца импульса  $P_1$  подавался прямоугольный СВЧ импульс  $P_2$ , частота которого  $\nu_{2p} \approx 2\nu_k^e = 18,00 \text{ ГГц}$ , а мощность была близка к пороговой мощности  $p \rightarrow e + e$  процесса. Благодаря большому различию частот, проникновение СВЧ мощности из возбуждающего резонатора в приемный не наблюдалось. Если мощность во втором резонаторе превышает пороговую, то на импульсе прошедшем через резонатор через время  $t$  от начала импульса наблюдается "скол", соответствующий жесткому возбуждению спиновых волн. В отсутствии сигнала  $P_1$  время  $t$  для данных  $H, T, \omega$  определяется только превышением мощности над пороговой:  $P_2/P_{2c}$ .

При включении импульса  $P_1$  мощности, превышающей пороговую мощность  $p \rightarrow n + e$  процесса, время  $t$  начинает уменьшаться с увеличением мощности  $P_1$  и уменьшением промежутка времени между импульсами  $\tau$ . Максимальная задержка  $\tau$ , при которой наблюдается изменение  $t$  при  $P_1 = P_{1max}$ , составляла  $\sim 15 \text{ мксек}$ .

На рис. 2 приведены, в качестве примера, осциллограммы импульсов прошедших через резонаторы при различных задержках  $\tau$  ( $\nu_{2p} = 17,9 \text{ ГГц}$ ,  $H = 1,3 \text{ кэ}$ ). Результаты описанных экспериментов, по-видимому, свидетельствуют о распространении  $e$ -магнонов по образцу, при-

водящем к увеличению числа магнонов  $n_k$  в части образца, находящейся в приемном резонаторе. В результате этого понижается пороговая мощность  $P_{2c}$  и уменьшается время

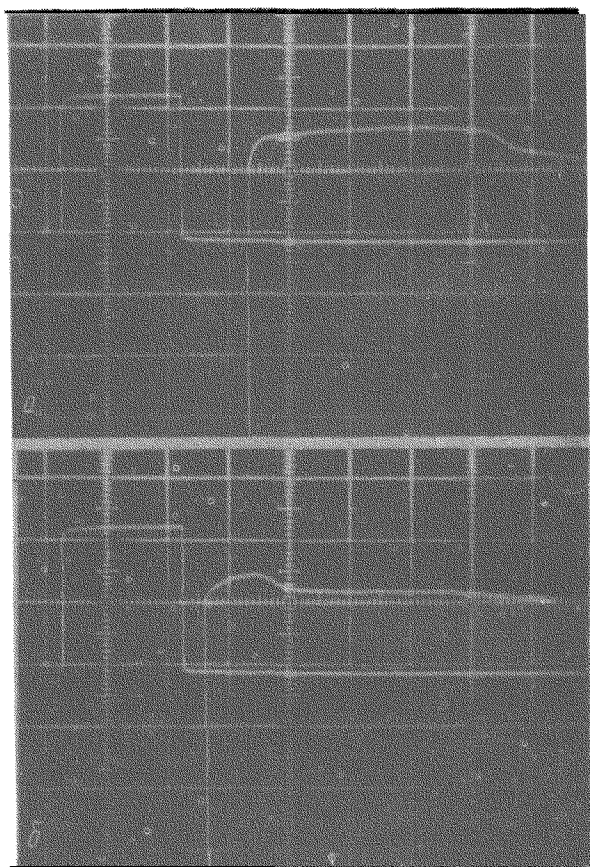


Рис. 2. Осциллограммы прошедших через резонаторы СВЧ импульсов при различных задержках  $\tau$ . Первый импульс —  $\nu_{1p}$ . Развертка — 50 мксек/см

Исходя из зависимости времени до скола  $t$  от времени задержки  $\tau$  при постоянной мощности  $P_1$  нам удалось определить время жизни бегущих  $e$ -магнонов  $\tau \approx 2$  мксек, которое близко к полученному в [4].

Мы глубоко признательны П.Л.Капице за интерес к работе, А.С.Боровику-Романову за постоянное внимание и ценные дискуссии. Благодарим также В.С.Воронина за техническую помощь при проведении экспериментов.

## Литература

- [1] L.W.Hindercs, P.M.Richards. JAP, 39, 824, 1968.
  - [2] M.H.Seavey. JAP, 40, 1597, 1969.
  - [3] L.W.Hindercs, P.M.Richards. JAP, 42, 1516, 1972.
  - [4] Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 65, 2470, 1973.
  - [5] В.В.Кведер, Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 63, 2205, 1972.
  - [6] Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 62, 2199, 1972.
  - [7] V.Minkiewicz, A.Nakamura. Phys. Rev., 143, 361, 1966.
  - [8] K.Lee, A.M.Portis, G.L.Witt. Phys. Rev., 132, 144, 1963.
-