

## ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНОНОВ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА ПРИ НЕРЕЗОНАНСНОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАКАЧКЕ

*Н.И. Ляшенко, В.П. Семиноженко, В.Л. Соболев,  
В.М. Талалаевский*

Обнаружено изменение функции распределения низкочастотных спиновых волн под действием нерезонансной параллельной накачки. Показано, что данный эффект является следствием перераспределения в высокочастотном поле магнонов по частоте в сторону больших частот.

Нерезонансной параллельной накачкой (НПН) мы будем называть ситуацию, когда внешнее переменное магнитное поле с частотой  $\Omega < 2\epsilon_0$  ( $\epsilon_0$  – активация спектра магнонов) приложено параллельно постоянному. Воздействие НПН на магнетик сводится к изменению вероятностей взаимодействий магнонов друг с другом, фононами и дефектами и, таким образом, созданию неравновесных состояний в системе магнонов [1 – 3]. В зависимости от того, какие из вышеперечисленных процессов являются при данных условиях наиболее эффективными, в системе спиновых волн могут реализовываться различные неравновесные распределения магнонов по энергии  $\epsilon_k$ . Так, например, в случае наиболее эффективных взаимодействий магнонов с дефектами (примеси, дислокации) НПН индуцирует процессы сохраняющие число магнонов [2, 3]. При этом поглощение квантов внешнего поля как было показано в [2, 3], приводит к перераспределению магнонов по энергии в сторону больших энергий. Это перераспределение сопровождается уменьшением значений функции распределения в низкоэнергетической области (об-

ласти малых волновых векторов) за счет возрастания функции распределения магнонов в области больших  $k$ . Описанное выше неравновесное состояние маглонной системы может приводить к эффекту стимулирования намагниченности [2, 3], т. е. к возрастанию намагниченности при НПН по сравнению с термодинамически равновесным значением. Прямое наблюдение предложенного ранее эффекта стимулирования намагниченности, по-видимому затруднено из-за того, что намагниченность является интегральной по спектру магнонов характеристикой. В связи с этим в данной работе для обнаружения эффекта [2, 3] была поставлена задача об исследовании локальных по энергии характеристик неравновесных состояний магнонов при НПН. Экспериментально обнаружено, что в железо-иттриевом гранате при комнатной температуре, величине постоянного магнитного поля  $H = 1,5$  кЭ, в условиях НПН на частоте  $\Omega = 140$  МГц и амплитуде переменного поля  $h = 1$  Э, в области волновых векторов:  $\epsilon_k - \epsilon_0 \sim \gamma$  ( $\gamma$  — затухание магнонов) локальная интенсивность излучения уменьшается на величину порядка 10%.

Для измерения локальной интенсивности излучения была использована методика, изложенная в работе [4]. Измерения проводились в полосе частот  $\Delta f = 10^6$  Гц (с несущей 4,7 ГГц) методом регистрации собственного излучения исследуемых ферритовых образцов на указанной частоте (см. [4] и цитируемую литературу). Исследовались монокристаллические образцы железо-иттриевого феррита граната диаметром 1,2 мм и шириной линии ферромагнитного резонанса (ФМР)  $\Delta H = 0,7$  Э. Накачка осуществлялась при помощи катушки, состоящей из четырех витков, в центре которой находился образец. Так как частота накачки была довольно высокой, то образец вместе с катушкой помещались прямо в волноводную секцию измерителя мощности. Подаваемое на образец поле накачки вызывало уменьшение интенсивности линии собственного излучения.

Для объяснения полученного результата проанализируем все возможные процессы, которые приводят к поглощению магнонами квантов внешнего поля при НПН. Если предположить, что образец не содержит магнитных неоднородностей, то главными процессами, которые приводят к неравновесным состояниям [1], являются индуцированные НПН тройные магнон-магнонные взаимодействия типа  $\epsilon_1 + \epsilon_2 \pm \Omega \approx \epsilon_3$ . Так как эти процессы не сохраняют число магнонов, то используя результаты [1], легко показать, что они приводят к возрастанию функции распределения. Если образец содержит магнитные неоднородности-примеси, то используя результаты [2], несложно вычислить, что для получения эффекта, обнаруженного в эксперименте, при заданной амплитуде поля 1 Э необходимы концентрации примесей порядка 10%, что явно не выполнялось для исследуемого образца.

Покажем теперь, что именно стимулированное внешним полем рассеяние магнонов на дислокациях [3] отвечает за наблюдаемый эффект, уменьшения функции распределения магнонов в области энергий  $\epsilon_k - \epsilon_0 \sim \gamma$ .

Относительное изменение локальной интенсивности излучения для слабонеравновесных состояний означает не что иное, как относитель-

ное изменение функции распределения магнонов  $\delta f/f$  (где  $f$  — равновесная функция распределения).

Заметим однако, что в настоящем эксперименте интервал волновых векторов  $\epsilon_k - \epsilon_0 \sim \gamma$ , в котором исследовалось изменение функции распределения таков, что длина волны магнона значительно больше среднего расстояния между дислокациями при любой разумной концентрации. В этой ситуации при рассмотрении рассеяния магнонов на деформациях, создаваемых дислокациями, необходимо иметь в виду увеличение общего уровня внутренних напряжений благодаря суперпозиции упругих полей. Используя кинетические уравнения работы [3] и методику расчета амплитуды рассеяния магнона на создаваемых дислокациями деформациях [5] для относительного изменения функции распределения магнонов, получаем

$$\frac{\delta f}{f} = -7,4 \cdot 10^{-3} \frac{\omega_M B^2 (\mu h)^2}{c_s L^{-1} \sqrt{\Omega} \epsilon_0^3 \Omega} \left\{ 1 - J_0 \left( \frac{\sqrt{\Omega}}{c_s L^{-1}} \right) \right\} (n_d b^2) \frac{\omega_M}{\mu (\Delta H)}, \quad (1)$$

где  $\omega_M = 4\pi\mu M_0$ ,  $M_0$  — намагниченность,  $B = \mu M_0^{-1} B_1$ ,  $B_1$  — магнитоупругая постоянная,  $c_s^2 = \mu M_0 a$ ,  $a$  — постоянная неоднородного обменного взаимодействия,  $J_0(z)$  — функция Бесселя,  $b$  — средний вектор Бюргерса,  $n_d$  — концентрация дислокаций,  $\mu = g\mu_B$ ,  $L$  — размер кристалла.

Полученное в эксперименте относительное изменение функции распределения  $\delta f/f \sim 10\%$  по формуле (1) обеспечивается концентрацией дислокаций  $n_d \sim 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$  (при оценке считалось, что  $b = a$ ,  $a$  — постоянная решетки).

Используя результаты расчета ширины линий ФМР [5] можно оценить ту концентрацию дислокаций, которая соответствует используемому в эксперименте образцу ( $\Delta H = 0,7\text{Г}$ ). Формула (21б) для  $\Delta H$  работы [5] дает  $n_d \sim 1,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ .

С целью дополнительного подтверждения дислокационного механизма проводился отжиг образца. После отжига величина эффекта значительно падала.

Авторы благодарны В.Г.Барьяhtarу, А.С.Боровику-Романову за обсуждение результатов.

Физико-технический институт  
низких температур  
Академии наук Украинской ССР

Донецкий  
физико-технический институт  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
23 июня 1981 г.  
После переработки  
8 октября 1981 г.

#### Литература

- [1] Семиноженко В.П., Соболев В.Л., Яценко А.А. ЖЭТФ, 1979, 77, 2324.
- [2] Семиноженко В.П., Яценко А.А. ФНТ, 1980, 6, 402.
- [3] Семиноженко В.П., Соболев В.Л., Яценко А.А. ЖЭТФ, 1980, 78, 1979.
- [4] Ляшенко Н.И., Талалаевский В.М. ФТТ, 1976, 18, 1558.
- [5] Ахизер А.И., Бойко В.С., Спольник А.И. ФТТ, 1974, 16, 3411.