

ОСЦИЛЛЯЦИИ ЗАПОРОВОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ МАГНОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ CsMnF_3

Б.А. Котюжанский, Л.А. Прозорова

Исследовалось параметрическое возбуждение электронных магнонов в антиферромагнитном CsMnF_3 на частоте накачки 18 ГГц в диапазоне температур $1,2 + 2,2 \text{ К}$ при сильной надкритичности. Обнаружены осцилляции запороговой восприимчивости χ . Измерены зависимости периода осцилляций τ от H и P/P_c .

В последние годы интенсивно исследуется параметрическое возбуждение электронных магнонов в антиферромагнетиках. Наиболее подробно были исследованы легкоплоскостные антиферромагнетики CsMnF_3 и MnCO_3 . В них были изучены условия параметрического возбуждения (зависимость величины пороговой мощности P_c от статического магнитного поля H , волнового вектора возбуждаемых магнонов k и температуры T) и свойства стационарного состояния системы параметрических магнонов (зависимость действительной $-\chi'$ и мнимой $-\chi''$ частей запороговой восприимчивости и временной фазы возбуждаемых пар $-\Phi$ от надкритичности P/P_c). При этом оказалось, что стационарное состояние сохраняется вплоть до $P/P_c \approx 10$.

Данная работа посвящена исследованию поведения антиферромагнетика за порогом параметрического возбуждения при сильной надкритичности $P/P_c > 10$.

Эксперименты проводились на гексагональном легкоплоскостном антиферромагнетике CsMnF_3 в диапазоне температур $1,2 - 2,1 \text{ К}$ на частоте накачки $\nu_p = 18 \text{ ГГц}$ в режиме длинных импульсов $\tau_{\text{имп}} = 2 \text{ мсек}$. Монокристаллические образцы с объемом $\sim 10 \text{ мм}^3$ помещались в цилиндрический резонатор магнитного спектрометра прямого усиления в пучность магнитного поля h колебания H_{011} . В эксперименте выполнялись условия "параллельной накачки" $h \parallel H \perp C_c$.



Рис. 1. Осциллограмма СВЧ импульса, прошедшего через резонатор:
 $\tau_{\text{имп}} = 1,8 \text{ мсек}$, $T = 1,2 \text{ К}$, $H = 2,1 \text{ кэ}$, $P/P_c = 14 \text{ дб}$

Исследования показали, что при сильной надкритичности $P/P_c > 10$ на осциллограмме СВЧ импульса, прошедшего через резонатор с образцом возникают осцилляции сигнала, имеющие вид пиков с длительностью, изменяющейся в зависимости от температуры и магнитного поля в пре-

делах $10 \div 20$ мксек (см. рис. 1). Осцилляции появляются при некотором значении СВЧ мощности $\tilde{P}(H, T)$, причем сначала, при $\tilde{P} = P$ на импульсе возникает один первый пик, а затем, при увеличении P , число пиков быстро растет и они покрывают весь импульс при любой его длительности. Существенно, что при не слишком малом P/\tilde{P} все пики (число которых доходило до 30) оказываются синхронизованы с началом импульса накачки — они повторяются регулярно, через равные промежутки времени. Таким образом осциллограммы импульса с пиками отличаются устойчивостью.

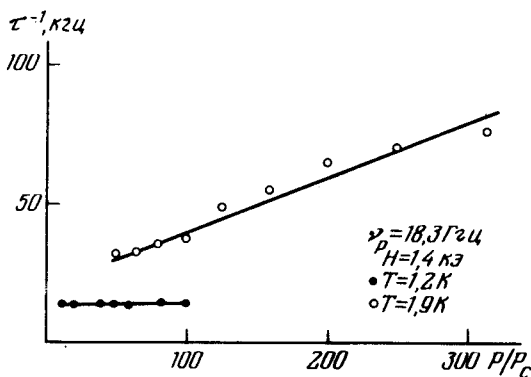


Рис. 2. Зависимость $\tau^{-1}(P/P_c)$

Наблюдаемые осцилляции поглощаемой образцом мощности соответствуют периодическому во времени изменению действительной и мнимой частей запороговой восприимчивости χ' и χ'' , имеющему характерный вид релаксационных колебаний. Наблюдения показали, что в момент времени, соответствующий пику на импульсе, $|\chi'|$ и χ'' увеличиваются относительно своих стационарных значений.

Из эксперимента следует, что при изменении внешних условий — T , H , P относительная величина пиков остается практически постоянной, в то время как временной интервал между пиками τ изменяется в широких пределах.

При исследовании зависимости $\tau(P)$ было выяснено, что в нижней части исследованного интервала температур τ не изменяется в пределах точности эксперимента при увеличении P вплоть до $P/\tilde{P} \approx 10$ в то время, как при более высоких температурах эта зависимость становится существенной. На рис. 2 приведены зависимости $\tau^{-1}(P)$ при $T = 1,2$ и $1,9\text{К}$. Отметим, что отношение соответствующих этим температурам пороговых мощностей параметрического возбуждения магнов $P_c(1,9\text{К}) : P_c(1,2\text{К}) = 2,2$.

На рис. 3 представлены результаты исследования зависимости интервала τ от величины статического магнитного поля H при постоянной мощности P и $T = 1,2\text{К}$. Видно, что с увеличением поля H интервал τ монотонно возрастает и $\tau(H)$ имеет вертикальную асимптоту в поле H^* . Поле H^* приблизительно на $0,1 \text{ кЭ}$ меньше H_c , соответствующего возбуждению магнов с $K = 0$. Аналогичный вид зависимости $\tau(H)$ наблюдается и при более высоких температурах.

Результаты проведенных экспериментов, по-видимому указывают на возбуждение в Cs MnF_3 при сильной надкритичности некоторого, неизвестного ранее типа колебаний.

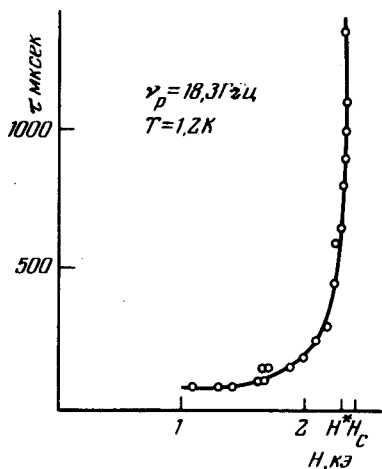


Рис. 3. Зависимость $\tau^{-1}(H)$

При параметрическом возбуждении магновов методом параллельной накачки в ферромагнетиках также наблюдается осцилляция поглощаемой образцом мощности — автомодуляция [1]. Теоретическое рассмотрение запорогового состояния в ферромагнетике, проведенное в работе [2] показало, что это явление объясняется возбуждением в системе параметрических магновов коллективных колебаний, представляющих собой периодические во времени и пространстве изменения числа и фазы связанных попарно параметрических магновов. В теории [2] было получено выражение, определяющее частоту коллективных колебаний Ω через релаксацию магновов γ и превышение над порогом параметрического возбуждения P_c . В простейшем случае оно имеет вид

$$\Omega = 2\gamma \sqrt{\frac{2T + S}{S} (P/P_c - 1)}, \quad (1)$$

где T и S — коэффициенты гамильтониана, описывающего взаимодействие в системе параметрических магновов. При этом необходимым условием возбуждения автомодуляции является соотношение

$$S(2T + S) < 0. \quad (2)$$

В работе [3] было показано, что теория запорогового состояния [2] применима также к антиферромагнетикам при условии слабой надкритичности, но из этих работ следует, что в нашем случае соотношение между коэффициентами T и S не удовлетворяет условию (2), и, следовательно, автомодуляции не должно быть. Однако следует иметь в виду, что при сильной надкритичности величины T и S могут существенно измениться.

Отметим основные отличия осцилляций в Cs MnF_3 и в железитриевом гранате (ЖИГ).

Во-первых в случае Cs MnF_3 колебания поглощаемой мощности имеют регулярный характер вплоть до превышения над порогом $P/P_c \approx 20$ дб.

Во-вторых, частота осцилляций в ЖИГ^{те} $\tau^{-1} \approx 10^4 \div 10^7$ *гц*, в то время как в CsMnF₃ эта величина существенно меньше: $\tau^{-1} \approx 0 \div 10^4$. Отметим, что в CsMnF₃ период колебаний больше, чем на два порядка превышает время жизни магнонов. В-третьих, в CsMnF₃ при понижении температуры τ перестает зависеть от мощности накачки P , хотя последнее может быть связано с тем, что чем ниже температура, тем большую роль в релаксации магнонов играет рассеяние на границе кристалла.

Не исключено, также что наблюдаемое явление связано с возбуждением второй группы магнонов при сильной надкритичности [2]. Если предположить, что при этом возникает периодическая перекачка энергии от одной группы магнонов к другой, то фазовый механизм ограничения числа магнонов может привести к осцилляциям поглощаемой мощности.

Авторы благодарят П.Л.Капицу и А.С.Боровика-Романова за интерес к работе. Благодарим также А.Е.Боровика и В.С.Львова за ценные дискуссии и С.В.Петрова за изготовление монокристаллов CsMnF₃.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 марта 1977 г.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Литература

- [1] Я.А.Моносов. Нелинейный ферромагнитный резонанс. М., изд. Наука, 1971.
- [2] В.Е.Захаров, В.С.Львов, С.С.Старобинец. УФН, 114, 609, 1974.
- [3] В.С.Львов, М.И.Широков. ЖЭТФ, 67, 1932, 1974.