

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ЖЕСТКОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ СПИНОВЫХ ВОЛН В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ CsMnF₃

А.В.Андрюченко

Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова
123182, Москва

Поступила в редакцию 3 марта 1992 г.

Модуляционным методом измерены скорости релаксации ядерных магненов, соответствующие порогам появления (h_{c1}) и исчезновения (h_{c2}) параметрических магненов. Установлено, что пик в пороге h_{c1} на частоте накачки $\nu_p \approx 780$ МГц обусловлен резонансным поглощением магненов дефектами, имеющими частоту перехода $\nu_n \approx 390$ МГц, а явление жесткого возбуждения обусловлено выключением этого механизма релаксации при насыщении переходов с частотой $\nu_p/2$.

Жесткий характер параметрического возбуждения ядерных спиновых волн (ЯСВ) был открыт в ¹ при исследовании антиферромагнетика CsMnF₃. Явление жесткости заключается в существовании двух пороговых полей h_{c1} и h_{c2} ($h_{c1} > h_{c2}$), первое из которых соответствует появлению параметрических ЯСВ, а второе - их исчезновению. Исследования параметра жесткости $\zeta = (h_{c1}/h_{c2}) - 1$ показали ², что зависимость ζ от частоты накачки ν_p имеет явно выраженный резонансный характер, причем положение пика, не зависит от температуры и магнитного поля. Объяснить жесткость можно зависимостью от числа ЯСВ либо коэффициента связи с полем накачки V , либо скорости их релаксации Γ . Во втором случае достаточно предположить, что с ростом числа параметрических ЯСВ какой-то канал их релаксации насыщается и величина Γ уменьшается. При этом, физическим параметром, характеризующим жесткость, является не ζ , а выключающаяся часть релаксации $\Delta\Gamma = (h_{c1} - h_{c2})V$.

Параметрические ЯСВ возбуждались параллельной СВЧ накачкой с частотой $\nu_p = 650 - 950$ МГц. Регистрация параметрических ЯСВ осуществлялась по сигналу "модуляционного отклика" образца ¹.

Сначала изучалось влияние поля $H_m \cos \omega_m t$, модулирующего спектр ЯСВ, на пороги h_{c1} и h_{c2} . Это влияние при условии $\vec{H}_m \parallel \vec{H}$, $\nu_p \gg \nu_m > 2\Gamma$ и $(h_c/h_{c0} - 1) \ll 1$ описывается следующим выражением ^{3,4}:

$$h_c/h_{c0} - 1 = 4V^2 H_m^2 [\nu_m^2 + 4\Gamma^2]^{-1}.$$

Здесь h_{c0} - пороговое поле в отсутствие модуляции, h_c - при наличии модуляции. Исследуя влияние модуляции на пороги h_{c1} и h_{c2} можно определить V и Γ , соответствующие обоим порогам. Отметим, что максимум зависимости $(h_c/h_{c0} - 1)$ от ν_m наблюдается при $\nu_m \sim 2\Gamma$ ⁴, что позволяет оценить величину Γ , соответствующую обоим порогам накачки без подробного исследования всей кривой.

Эксперименты показали, что влияние H_m на пороги h_{c1} и h_{c2} различается, причем различие усиливается с ростом ζ . Измеренные этим методом коэффициенты V для двух порогов совпадают с точностью до ошибки эксперимента, зато наблюдается сильное различие значений релаксации $\Gamma_1 = h_{c1}V$ и $\Gamma_2 = h_{c2}V$. На рис.1 приведены экспериментальные результаты для относительного увеличения порогов h_{c1} и h_{c2} в условиях большой жесткости. Колоссальное отличие в величине влияния модуляции на пороги h_{c1} и h_{c2} и в положении максимумов соответствуют скоростям релаксации, рассчитанным по

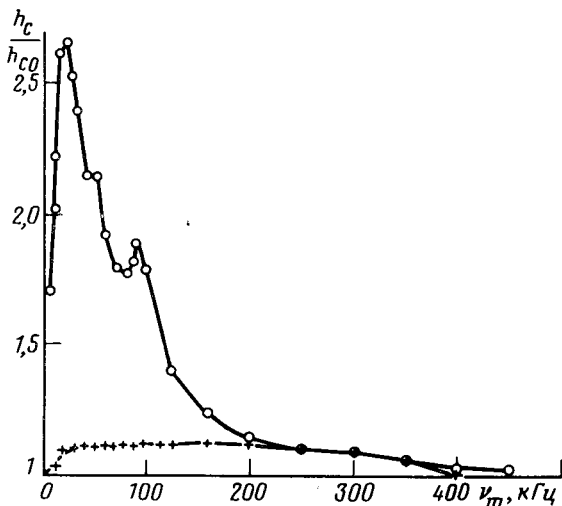


Рис.1.

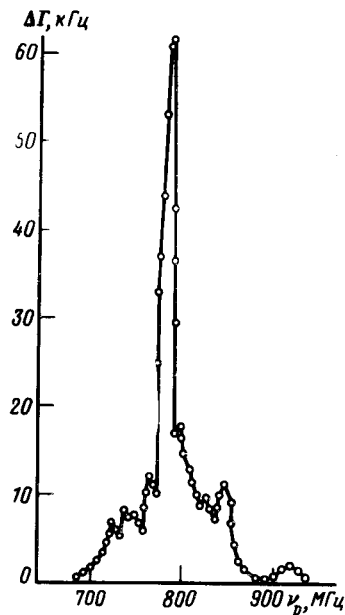


Рис.2.

Рис.1. Влияние модуляции на пороги накачки в области большой жесткости $h_{c10}/h_{c20} = 5,65$. $\nu_p = 778,7$ МГц, $T = 1,76$ К, $H = 1,08$ кЭ. $H_m = 1,96$ Э. $\circ - h_{c2}$, $+ - h_{c1}$

Рис.2. Частотная зависимость выключающейся части релаксации в CsMnF_3 . $T = 1,86$ К, $H = 0,8$ кЭ

двум пороговым полям h_{c10} и h_{c20} : $\Gamma_1 = (60 \pm 15)$ кГц, $\Gamma_2 = (9 \pm 2,2)$ кГц. Следовательно, жесткость обусловлена уменьшением скорости релаксации ядерных магненов при их параметрическом возбуждении, причем изменение параметров жесткости от образца к образцу указывает на то, что этот вклад в затухание обусловлен взаимодействием ЯСВ с дефектами.

Затем были исследованы частотная, полевая и температурная зависимости выключающейся части релаксации ЯСВ. На рис.2 приведена частотная зависимость $\Delta\Gamma$ в одном из образцов CsMnF_3 при фиксированном значении H . В рамках рассматриваемой модели, ширина пиков на зависимости $\Delta\Gamma(T)$ может соответствовать скорости релаксации дефектов или их распределению по частоте. На рис. 3 показана температурная зависимость $\Delta\Gamma$ в максимуме жесткости. С ростом температуры выключающаяся часть релаксации сначала растет, затем при $T \approx 3,5$ К проходит через максимум. От магнитного поля $\Delta\Gamma$ зависит слабо.

Если полагать, что вклад $\Delta\Gamma$ обусловлен резонансным поглощением ЯСВ дефектами с частотой ν_d , то можно попытаться выключить этот канал релаксации дополнительным СВЧ излучением с частотой $\nu_3 = \nu_d$. В связи с этим был поставлен эксперимент, в котором одновременно с основной накачкой на образец подавалась зондирующая $h_3 \cos \omega_3 t$, для которой $\vec{h}_3 \perp \vec{H}$. При выполнении условия $\nu_3 = \nu_p/2$ вторая накачка существенно влияла на порог h_{c1} . Это влияние начиналось при амплитудах $h_3 \sim 3 \cdot 10^{-4} h_{c1}$. С ростом мощности зондирующей накачки P_3 порог h_{c1} падал, стремясь к значению h_{c2} , то есть вклад $\Delta\Gamma$ уменьшался до нуля, рис.4. Влияние зондирующего излучения на порог h_{c2} не наблюдалось. При смещении частоты ν_3 относительно $\nu_p/2$ влияние на порог h_{c1} быстро уменьшается. Ширина этой линии характеризует собственную скорость релаксации дефекта: $\Delta\nu_d(4,2 \text{ К}) \approx 20$ кГц, $\Delta\nu_d(1,5 \text{ К}) \approx 10$ кГц. Эти величины на два порядка меньше, чем ширина

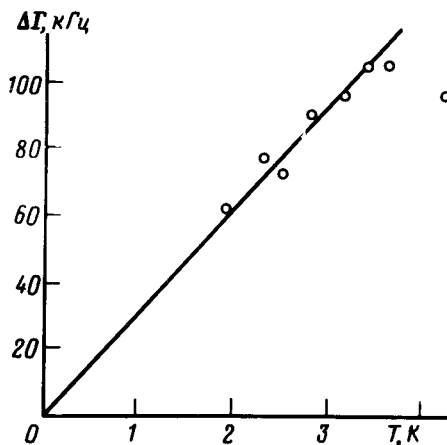


Рис.3.

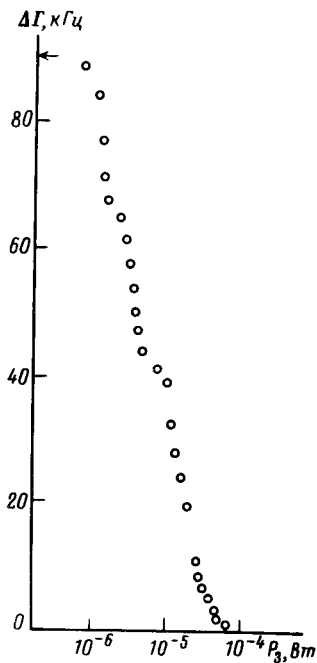


Рис.4

Рис.3. Температурная зависимость выключающейся части релаксации $\Delta\Gamma$; $H = 670$ Э, $\nu_p = 780$ МГц
 Рис.4. Зависимость выключающейся части релаксации от мощности зондирующей накачки с частотой $\nu_3 = \nu_p/2 = 391,00$ МГц; $T = 4,2$ К, $H = 750$ Э. Стрелкой указано значение $\Delta\Gamma$ при $P_3 = 0$

пигов на рис.2, которая, по-видимому, отражает распределение дефектов по частоте.

В заключение обсудим природу изучаемых дефектов. В⁵ полагалось, что жесткость ЯСВ связана с нестехиометрией кристалла - избытком атомов Mn. В данной работе мы провели измерения жесткости в нескольких образцах с нарушенной стехиометрией. Оказалось, что избыток любого из элементов: Mn, Cs или F не оказывает существенного влияния ни на частоту, ни на величину пика $\Delta\Gamma$ в релаксации ЯСВ. При этом шлифование образца позволило увеличить выключающуюся часть релаксации приблизительно в два раза, что вероятно связано с ростом числа дислокаций в кристалле. Таким образом наши результаты подтверждают выводы работ^{2,6,7}, где основными дефектами, влияющими на релаксацию магновов в CsMnF_3 , полагались дислокации.

1. А.В.Андрienко, В.И.Ожогин, В.Л.Сафонов, А.Ю.Якубовский, ЖЭТФ **84**, 1158 (1983).
2. А.В.Андрienко, В.И.Ожогин, В.Л.Сафонов, А.Ю.Якубовский, УФН **101**, N10, 1 (1991).
3. В.В.Зауткин, В.С.Львов, Б.И.Орел, С.С.Старобинец, ЖЭТФ **72**, 272 (1977).
4. А.В.Андрienко, В.И.Ожогин, В.Л.Сафонов, А.Ю.Якубовский, ЖЭТФ **89**, 2164 (1985).
5. А.В.Андрienко, В.И.Ожогин, В.Л.Сафонов, А.Ю.Якубовский, ЖЭТФ **87**, 1509 (1984).
6. Ю.М.Буньков, В.В.Дмитриев, В.Л.Сафонов, ФТТ **27**, 2004 (1985).
7. А.В.Андрienко, ЖЭТФ **100**, 1358 (1991).