

АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ПРОМЕЖУТОЧНОМ СОСТОЯНИИ MnF_2

В.В.Еременко, А.В.Клочко, В.М.Науменко

Получены экспериментальные данные, которые свидетельствуют о том, что в области промежуточного состояния антиферромагнетика внутреннее магнитное поле не изменяется и что антиферромагнитный резонанс возбуждается в макроскопических доменах антиферромагнитной и спин-флоп фаз независимо друг от друга.

Если направить магнитное поле вдоль вектора антиферромагнетизма, то в ряде антиферромагнетиков (АФМ) при достижении критического поля происходит переход первого рода — опрокидывание магнитных подрешеток (спин-флоп). При этом, если образец является бесконечно длинным цилиндром, переход осуществляется скачком из антиферромагнитной фазы (АФ) в опрокинутую, спин-флоп (СФ) фазу. В образце конечных размеров этот переход происходит через промежуточное состояние (ПС) ^{1,2}, которое существует в интервале магнитных полей, определяемом фактором размагничивания образца. ПС представляет собой термодинамически устойчивую периодическую структуру из доменов АФ и СФ фаз. Первое экспериментальное доказательство существования ПС в АФМ было получено в ² при исследовании намагниченности тетрагонального двухподрешеточного АФМ — MnF_2 .

ПС в MnF_2 затем исследовалось методами оптической спектроскопии ^{3,4} и ЯМР ³. Можно было ожидать, что антиферромагнитный резонанс (АФМР) также покажет особое поведение, характерное для ПС. Признаки такого поведения можно установить, если воспользоваться результатами теоретической работы ¹, в которой, в частности, показано, что при изменении величины внешнего магнитного поля внутреннее магнитное поле в АФМ, находящемся в ПС, остается постоянным. Учитывая то обстоятельство, что связь между колебаниями в доменах АФ и СФ фаз не может быть сильной из-за малого значения восприимчивости АФМ, следует ожидать, что частоты АФМР в области ПС практически не будут изменяться с внешним магнитным полем. Колебания в АФ и СФ фазах должны происходить независимо друг от друга, а их интенсивности должны быть пропорциональны доле вещества соответствующей фазы. Однако в $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ ⁵ в ПС наблюдалась плавно меняющаяся с ростом поля частота АФМР, что теоретически истолковывалось как возникновение в ПС коллективного колебания сосуществующих фаз. Тем больший интерес представляло изучение АФМР в MnF_2 , для которого существование ПС показано наиболее убедительно ²⁻⁴.

Монокристаллические образцы MnF_2 представляли собой пластинки с развитой плоскостью (001) размером 3×3 мм² и толщиной от 0,05 до 0,3 мм. Для образцов такой геометрии, в соответствии с фактором размагничивания, следовало ожидать ширину области ПС около 0,1 Т. Эксперимент осуществлялся на установке ⁴, позволявшей записывать восприимчивость dM_z/dH вдоль оси C_4 , изменять ориентацию образца с точностью 0,5° и надежно определять интенсивность линий поглощения. Наблюдение dM_z/dH одновременно с наблюдением резонансных линий позволяло следить за состоянием АФМ, его ориентацией и поведением АФМР, а также давало хорошую калибровочную точку — H_c , соответствующую максимуму dM_z/dH , относительно которой измерялась величина резонансного поля в области ПС с точностью 10^{-2} Т. Неоднородность магнитного поля в месте расположения образца не превышала 0,1% от значения поля.

Как упоминалось выше, в области ПС следовало ожидать независимость частот АФМР от H (горизонтальные участки зависимости $\nu = \nu(H)$), что легко было бы обнаружить, если осуществить развертку спектра по частоте $J(\nu)|_{H = \text{const}}$. Однако, существующие СВЧ генераторы не позволяют это сделать. Тем не менее, если учесть конечность ширины резонансных линий, то даже при обычно осуществляемой в эксперименте развертке по полю $J(H)|_{\nu = \text{const}}$ можно надежно исследовать горизонтальные участки $\nu = \nu(H)$. Более того, если записывать спектры с частотами генераторов, отличающимися друг от друга на вели-

чину, существенно меньшую ширины линий поглощения, то удается даже восстановить форму линий поглощения $J(\nu)|_{H = \text{const}}$, имея данные $J(H)|_{\nu = \text{const}}$. Именно таким путем нам удалось зафиксировать горизонтальные участки и обнаружить уширение линий высокочастотной (ВЧ) моды АФМР в области ПС с $0,1 \text{ см}^{-1}$ до $0,5 \text{ см}^{-1}$. Это уширение связано, по-видимому, с тем, что резонанс в ПС для образца в целом не является однородным, и вклад в ширину линии дают различные домены каждой из фаз.

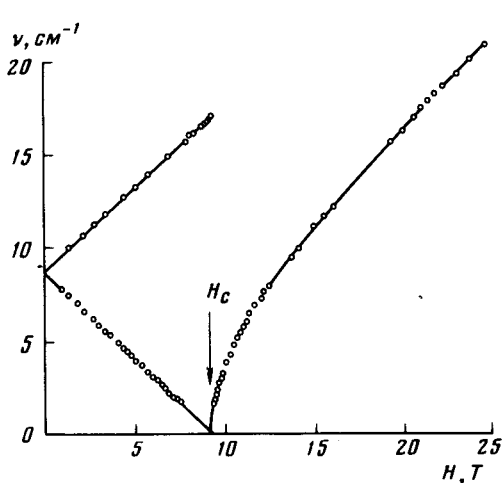


Рис.1

Рис. 1. Частотно-полевая зависимость АФМР в MnF_2 при $\psi = 0 \pm 1'$; сплошные линии – теория^{7,8}

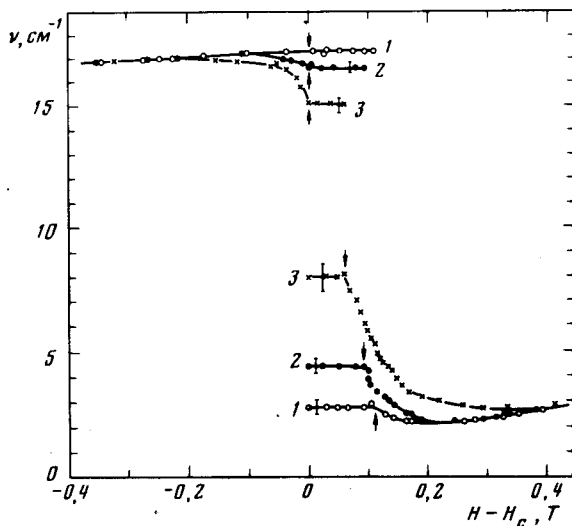


Рис. 2. Частотно-полевые зависимости АФМР в окрестности ПС. Стрелками обозначены границы горизонтальных участков, а цифры, стоящие рядом, соответствуют углам наклона: 1 – $\psi = 0'$; 2 – $\psi = 10'$; 3 – $\psi = 20'$. ○ – Экспериментальные точки при $\psi = 0'$; ● – $\psi = 10'$; × – $\psi = 20'$

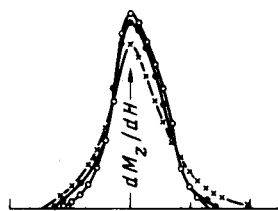


Рис.2

На рис. 1 представлена частотно-полевая зависимость АФМР для MnF_2 , находящегося при температуре $4,2\text{K}$, при точном направлении ($\pm 1'$) H вдоль тетрагональной оси C_4 . Грубо ($\pm 10'$) образцы ориентировались по достижении максимума dM_z/dH , а точно – по получению поглощения на как можно более высокой частоте для ВЧ моды АФМР. Экспериментальные точки хорошо ложатся на теоретические кривые^{7,8} при $g = 2,00$ и дают частоту $\nu_{H=0} = 8,7 \text{ см}^{-1}$, как и в⁷. Экстраполяция зависимостей низкочастотной и послеспин-флоповой мод к $\nu = 0$ позволяет определить ширину области метастабильности: $0,1 \pm 0,05 \text{ T}$, что хорошо согласуется с теоретической оценкой⁸: $H_1 - H_2 \approx H_A \sqrt{2H_A/H_E} = 0,15 \text{ T}$ ($H_A = 0,88 \text{ T}$; $H_E = 55,6 \text{ T}$).

На рис. 2 представлены в увеличенном масштабе частотно-полевые зависимости АФМР в области ПС при различных ψ -углах наклона поля относительно C_4 . Значение H_c , при котором dM_z/dH достигает максимума, равно $9,21 \pm 0,05 \text{ T}$. На горизонтальных участках зависимостей $\nu = \nu(H)$ интенсивность резонанса АФ фазы вещества с увеличением поля уменьшается, а СФ фазы – увеличивается. При $\psi = \psi_{\text{кр}} \approx 30'$ исчезают горизонтальные участки, и линии поглощения существуют в области частот от 2 до 17 см^{-1} , в то время как при $\psi < \psi_{\text{кр}}$ наблюдаются "окна" прозрачности – отсутствие поглощения в некотором интервале частот и полей ΔH , соответствующих ПС. Наличие горизонтальных участков зависимостей $\nu = \nu(H)$ показывает, что при изменении внешнего магнитного поля внутреннее

поле MnF_2 , находящегося в ПС, остается постоянным, а колебания в АФ и СФ фазах происходят независимо друг от друга.

Кроме того, из рис. 2 видно, что горизонтальные участки зависимостей $\nu = \nu(H)$ с ростом ψ сужаются, что согласуется с сужением области ПС за счет уменьшения скачка намагниченности при увеличении ψ ².

В заключение выражаем признательность за полезные обсуждения А.Е.Боровику и К.Л.Дудко.

Литература

1. Барьяхтар В.Г., Боровик А.Е., Попов В.А. ЖЭТФ, 1972, 62, 2233.
2. Дудко К.Л., Еременко В.В., Фридман В.М. ЖЭТФ, 1971, 61, 678., 1553.
3. King A.R., Paquette D. Phys. Rev. Lett., 1973, 30, 662.
4. Мильнер А.А., Попков Ю.А., Еременко В.В. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 39.
5. Барьяхтар В.Г., Галкин А.А., Ковнер С.Н., Попов В.А. ЖЭТФ, 1970, 58, 494.
6. Науменко В.М., Еременко В.В., Клочко А.В. ПТЭ, 1981, №4, 159,
7. Johnson F.M., Nethercot A.H., Jr. Phys. Rev., 1959, 114, 705.
8. Туров Е.А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М.: изд. АН СССР, 1963.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
28 апреля 1982 г.