

## СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ПЕРЕХОД МЕЖДУ СОСТОЯНИЯМИ В БИСТАБИЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ МАГНИТНОМ РЕЗОНАНСЕ В $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$

Г.С.Патрин<sup>1)</sup>, Н.В.Волков

Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН

660036 Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 20 ноября 1996 г.

В кристаллах  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$  обнаружено, что при нелинейном магнитном резонансе в области магнитных полей, где наблюдается гистерезис, при импульсном лазерном облучении происходит переход между различными ветвями резонансной кривой. Эффект проявляется пороговым образом по мощности оптического излучения.

PACS: 75.50+g, 78.20.Wc

Перевод вещества в метастабильное состояние открывает новые перспективы для придания ему новых свойств и управления этими свойствами. Одним из таких проявлений являются эффекты оптической бистабильности [1], на основе чего создаются оптически управляемые устройства. Ясно, что привлечение методов комбинированного воздействия, например излучений оптического и радиочастотного диапазонов, значительно расширяет разнообразие возможных проявлений и способов регистрации наблюдаемых эффектов. В этом плане удобными объектами могут оказаться магнитные системы, поскольку в них реализуются различные метастабильные состояния как в статическом, так и в динамическом режимах (см., например, [2]).

В кристаллах системы  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2(\text{MnCu})\text{Cl}_4$  было обнаружено нелинейное СВЧ поглощение, подобное классическому нелинейному резонансу ангармонического осциллятора [3]. А известно [4], что при нелинейном магнитном резонансе в определенном интервале магнитных полей реализуются динамические состояния, которые в стационарных условиях остаются (мета)стабильными.

В настоящей работе сообщается о результатах исследований по управлению динамическим состоянием ферромагнитного кристалла  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$  путем оптического воздействия.

Измерения были выполнены на монокристаллах  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$ , представлявших собой пластинки толщиной  $t \approx 0.3$  мм и среднего поперечного размера  $d \approx 4$  см. Ось  $C$  кристалла была перпендикулярна плоскости пластинки. Внешнее магнитное поле лежало в плоскости образца и было перпендикулярно направлению распространения лазерного излучения. Образец помещался в кварцевую кювету и был в свободном от напряжений состоянии. Источником СВЧ электронного излучения служил перестраиваемый генератор на диоде Ганна с максимальной мощностью  $P_{\text{УHF}} \approx 0.2$  Вт. Применялся прямоугольный резонатор на частоте  $f = 10$  ГГц с модой  $\text{TE}_{102}$  и добротностью  $Q \sim 1000$ . Коэффициент отражения СВЧ излучения от резонатора был  $|\Gamma| \approx 0.1$ . Источником оптического излучения служил импульсный лазер ЛТИПЧ-4 на длине волны  $\lambda = 1.064$  мкм и длительностью импульса  $\tau = 10$  нс.

<sup>1)</sup>e-mail: gap@iph.Krasnoyarsk.su

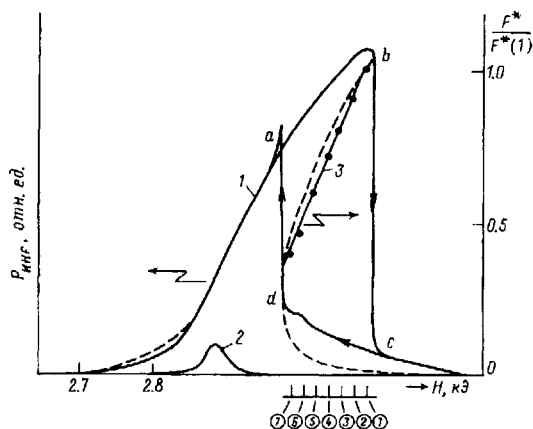


Рис.1. Форма резонансной кривой СВЧ поглощения: 1 – нелинейный резонанс, 2 – линейный режим, 3 – полевая зависимость приведенной пороговой мощности оптического излучения (см. текст). Жирные линии – эксперимент, штриховая линия – расчет [6];  $T = 5\text{ К}$

Было замечено, что в области магнитных полей, где имеет место гистерезис СВЧ поглощения (интервал  $c-d$  на рис.1), при облучении кристалла лазером происходит изменение поглощения СВЧ мощности. Ни в линейном режиме, ни вне интервала  $c-d$  изменений характера СВЧ поглощения не наблюдается. При фиксированном значении магнитного поля внутри этого интервала, если система находится на нижней ветви резонансной кривой (участок  $c-d$ ), при облучении одиночным импульсом лазера происходит увеличение СВЧ поглощения и, если мощность оптического излучения  $F$  меньше некоторого порогового значения  $F^*$ , система возвращается в исходное состояние. При  $F > F^*$  система переходит в состояние, соответствующее верхней ветви резонансной кривой (участок  $a-b$ ), и уже не возвращается на нижнюю ветвь. Снова попасть на нижнюю ветвь можно только, выйдя за пределы резонансной кривой в большие поля и вернуться назад при уменьшении магнитного поля.

На рис.2 приведены зависимости временного развития возникающих изменений при разных мощностях оптического излучения и разных значениях магнитного поля, полученные при записи на запоминающем осциллографе С8-17. Прежде всего обращает на себя внимание осциллирующий характер временного изменения  $P_{УНФ}$ . Такое поведение не может быть объяснено тривиальным нагревом образца при облучении, поскольку без изменяющегося периодически потока от источника тепла рассасывание тепловой неоднородности как во времени, так и в пространстве носит монотонный характер [5]. Также примечательным является то, что "мертвое время", после которого начинает развиваться неустойчивость, увеличивается при увеличении мощности оптического излучения. При этом увеличиваются ширины пиков и расстояние между ними. Например, при сравнении зависимостей, соответствующих мощности импульса лазера  $F/F^*(1) = 0.55$ , на разных частях рис.2 можно получить представление о характере поведения  $P_{УНФ}$  при изменении магнитного поля, то есть при движении вдоль ветви  $c-d$ . Видно, что проявляется некая аналогия в поведении относительно либо увеличения  $F$ , либо уменьшения  $H$ .

Если система находится в состоянии, соответствующем ветви  $a-b$ , то индуцируемые изменения  $P_{УНФ}$  являются обратимыми при любых режимах оптического облучения и при всех значениях магнитного поля (см.рис.3). Однако здесь, как и в предыдущем случае, "мертвое время" зависит от

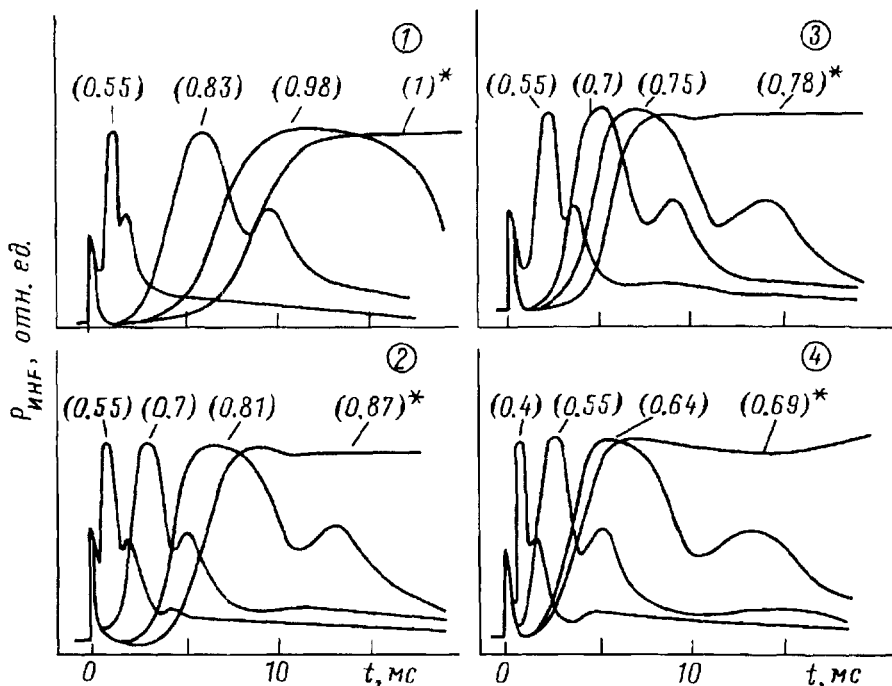


Рис.2. Временные зависимости изменения поглощаемой СВЧ мощности, индуцируемые одиночным импульсом лазера. Цифры в скобках указывают относительную мощность оптического излучения. Цифры в кружках указывают значения магнитных полей. Исходное состояние - *c-d*. Все обозначения, как на рис.1

мощности оптической накачки. Также при увеличении  $F$  увеличивается и время релаксации в исходное состояние.

Заметим, что причины столь сильной нелинейности в динамике спиновой подсистемы еще не установлены (так, для описания кривой 2 на рис.1 требуется учет членов разложения в восстанавливающей силе вплоть до 7-го порядка включительно [6]). Можно предположить (и для этого есть основания [7]), что обмен между ионами меди, как ян-теллеровскими ионами, в этом соединении следует рассматривать с учетом упорядочения орбитальных состояний (псевдоспиновый обмен), происходящего через фононную подсистему. Это приводит к тому, что эффективный обменный интеграл между спинами ионов меди оказывается функцией как состояния упругой подсистемы, так и состояния спиновой подсистемы. В результате такого зацепления зависимость магнитного момента кристалла от поля становится существенно "нелинейной" [7].

Спектр оптического поглощения кристалла  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$  таков, что излучение с  $\lambda = 1.064$  мкм попадает на "хвост" длинноволнового края поглощения, где коэффициент поглощения при  $T = 78$  К составляет  $\alpha \approx 1.5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$ . В принципе возможно, что свой вклад в изменение магнитного состояния могут давать и фотопереходы ионов меди, изменяя анизотропные и обменные взаимодействия.

Однако ситуация нам представляется такой, что изменения в спиновой подсистеме обусловлены развитием индуцированных упругих колебаний. По-

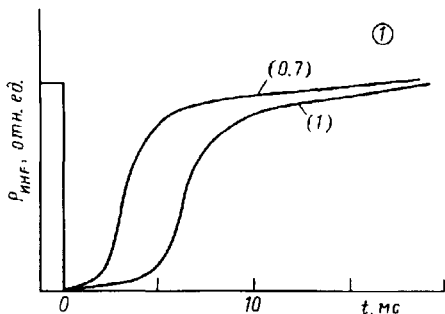


Рис.3. Временные зависимости изменения поглощаемой СВЧ мощности при импульсном лазерном облучении. Исходное состояние - линия а - б

скольку в формировании обменного взаимодействия в спиновой подсистеме активными являются лишь те колебательные моды, которые преобразуются по тем же неприводимым представлениям, что и ян-теллеровские искажения, то их удельный вес в равновесной плотности фононных состояний невелик. Ясно, что для макроскопической перестройки спинового состояния необходимо, чтобы, за счет фотоупругого преобразования, требуемая мода обладала существенной интенсивностью. По достижению требуемой интенсивности за счет изменения обменного интеграла в системе меняются резонансные условия и происходит переход из состояния  $c-d$  в состояние  $a-b$  (рис.1). Мы измерили зависимость пороговой мощности оптического излучения  $F^*$  от местоположения на ветви  $c=d$  и, отнормировав ее при магнитном поле в точке 1 в кружке, привели на рис.1 (линия 3). В данном случае можно говорить о хорошей корреляции между линией неустойчивого состояния и линией пороговой мощности оптического излучения. Как известно [4], если система находится на ветви, соответствующей неустойчивому состоянию, то возмущение, сдвигающее состояние системы вниз от этой ветви, уводит ее на ветвь  $c-d$ , а при сдвиге вверх - на ветвь  $a-b$ . В наших экспериментах при  $F > F^*$  всегда конечным состоянием оказывается ветвь  $a-b$ , независимо от начального состояния. Это означает, что в данном случае ветвь  $a-b$  является действительно устойчивым динамическим состоянием, а ветвь  $c-d$  - метастабильным динамическим состоянием. Осциллирующий характер развития индуцированной неустойчивости (рис.2) может быть связан с образованием упругой стоячей волны.

Авторы благодарят А.П.Перепелицу за выращенные монокристаллы  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$ , Н.В.Федосееву за полезные обсуждения, и В.Н.Заблуду за проведение оптических измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 96-02-16548-а).

1. Х.Гиббс, *Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света*, М.: Мир, 1988. (Hyatt M.Gibbs. *Optical Bistability: Controlling Light with Light*, Academic Press, Inc., 1985).
2. Э.Л.Нагаев, *Магнетики со сложными обменными взаимодействиями*, М.: Наука, 1988.
3. Г.С.Патрин, Н.В.Волков, Н.В.Федосеева, Е.М.Николаев, Письма в ЖЭТФ **57**, 183 (1993).
4. В.В.Мигулин, В.И.Медведев, Е.Р.Мустель, В.Н.Парыгин, *Основы теории колебаний*, М.: Наука, 1978.
5. Г.Джеффрис, Б.Свирлс, *Методы математической физики*, М.: Мир, 1970, в.3 (H.Gefferys and B.Swirls, *Methods of Mathematical Physics*, Cambridge University Press, 1966, Third Edition).
6. G.S.Patrin and N.V.Volkov, JMMM **151**, 189 (1995).
7. К.И.Кугель, Д.И.Хомский, УФН **136**, 621 (1982).