

## СПИНОВОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА ИОНАХ $\text{Ce}^{3+}$ В КРИСТАЛЛЕ ЦЕРИЙ-МАГНИЕВОГО НИТРАТА

С.А.Альшутлер, Ю.Г.Назаров, А.Х.Хасанов

Впервые обнаружено спиновое комбинационное рассеяние света в парамагнитном ионном кристалле.

Известно, что в магнетиках может наблюдаться неупругое рассеяние света, обусловленное спин-фононным взаимодействием. До настоящего времени спиновое комбинационное рассеяние света (КРС) изучалось лишь в магнитоупорядоченных веществах [1] и в полупроводниках [2]. В данной работе обнаружено спиновое КРС на ионах  $\text{Ce}^{3+}$  в парамагнитном кристалле  $\text{Ce}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{CeMgN}$ ).

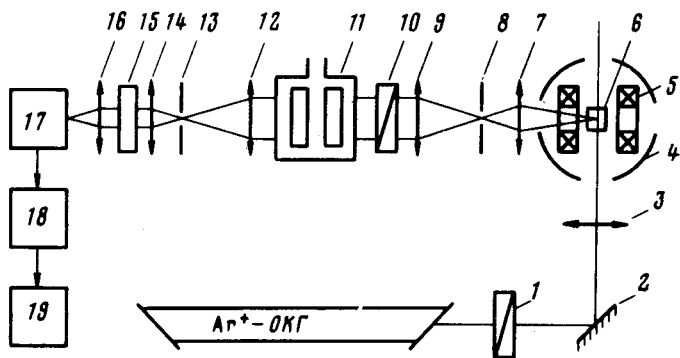


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – вращатель плоскости поляризации, 2 – зеркало, 3, 7, 9, 12, 14, 16 – объективы, 4 – оптический криостат, 5 – сверхпроводящие катушки Гельмгольца, 6 – образец, 8, 13 – диафрагмы, 10 – поляризатор, 11 – интерферометр Фабри – Перо, заключенный в барокамеру, 15 – интерференционный фильтр, 17 – фотоумножитель ФЭУ-79, 18 – электрометрический усилитель, 19 – самописец

В эксперименте изучалось  $90^\circ$ -ное рассеяние света в  $\text{CeMgN}$  при 1,7 К в постоянном магнитном поле. Схема установки приведена на рис. 1. Одночастотное лазерное излучение с длиной волны 488 нм мощностью 0,3 Вт, рассеянное кристаллом, анализировалось интерферометром Фабри – Перо, сканируемым давлением. Интерференционный фильтр с полосой пропускания 0,1 нм отрезал спектр мешающего колебательного комбинационного рассеяния. Постоянная времени регистрирующей схемы составляла 4 сек.

Измерения проводились на образце, ориентированном согласно кристаллофизической установке [3]. Были получены поляризованные спектры рассеяния для четырех ориентаций образца относительно волновых векторов  $\mathbf{k}_\Pi$ ,  $\mathbf{k}_\rho$  падающего и рассеянного света и направления внешнего магнитного поля  $H$ , всегда остававшегося перпендикулярным оптической оси кристалла. Спектрограммы, полученные при  $H = 0$ , содер-

жали только компоненты ранее изученного [3] мандельштам-бриллюэновского рассеяния (МБР). В присутствии поля  $H$  были обнаружены дублетные линии, смещения  $\Delta\nu$  которых относительно частоты лазерного излучения совпадали с частотой переходов  $\nu_0$  между зеемановскими уровнями эффективного спина  $S = 1/2$  ионов  $\text{Ce}^{3+}$  в основном электронном состоянии:  $\Delta\nu = \nu_0 = g_L \beta H / h$ . Спектры рассеяния того и другого вида, полученные в отличающихся на  $90^\circ$  поляризациях падающего света, показаны на рис. 2. Различие в интенсивностях стоксовых и антистоксовых компонент в спектре МБР определяется температурой кристаллической решетки, а в спектре КРС – заселенностями спиновых уровней энергии. Из рисунка следует, что КРС переходы с изменением магнитного квантового числа  $\Delta m_S = 1$  преобладают над переходами с  $\Delta m_S = -1$  в примерном соответствии с равновесной температурой кристалла. Форма наблюдаемых линий спинового дублета определялась главным образом аппаратной функцией интерферометра Фабри – Перо. Отметим, что в нее должна давать вклад ширина спиновых уровней, между которыми совершается КРС переход. В данном опыте этот вклад был замаскирован аппаратной шириной спектрометра.

На рис. 3 приведена полевая зависимость КРС, исследованная в интервале  $H \approx 2 + 17$  кЭ. Измеренные значения  $\Delta\nu$  удовлетворяют равенству  $\Delta\nu = \nu_0$  (для ионов  $\text{Ce}^{3+}$  принималось  $g_L \approx 1,83$ ) с точностью 1 – 2%, соответствующей экспериментальным ошибкам измерений. Интенсивность КРС дублета, как и следовало ожидать, в опыте от  $H$  не зависела.

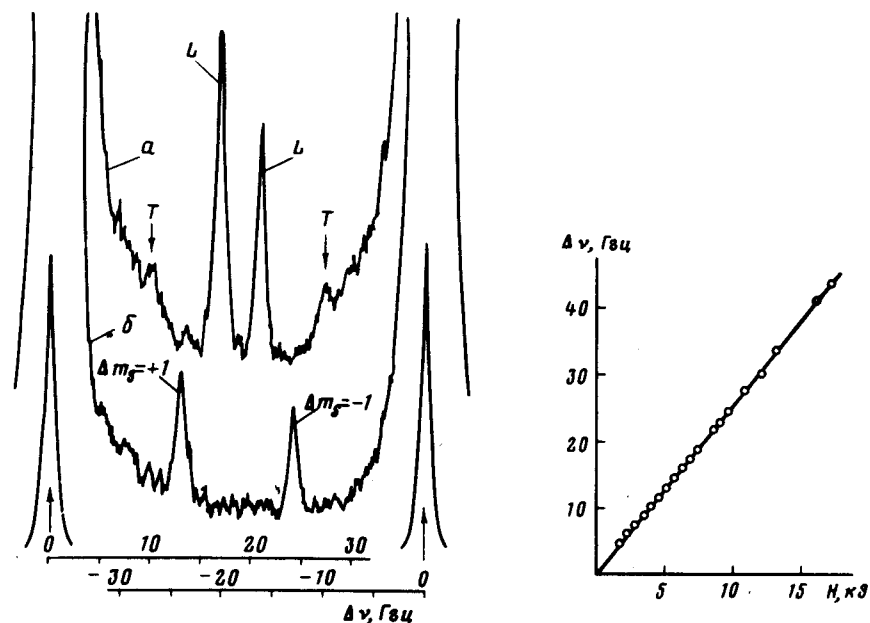


Рис. 2. Спектрограммы мандельштам-бриллюэновского (а) и спинового комбинационного (б) рассеяния света в  $\text{CeMgN}$  (ориентация 4,  $H = 5,13$  кЭ)

Рис. 3. Зависимость спектрального смещения линий спинового КРС от величины магнитного поля

Эффект обнаруживался только в определенных поляризациях световых пучков  $e_{\Pi}$ ,  $e_p$ :

№ ориент.	$k_{\Pi}$	$k_p$	$H$	$e_{\Pi}$	$e_p$
1	001	010	$y$	$y$	$z$
2	010	001	$y$	$z$	$y$
3	100	010	$y$	$y$	$z$
4	010	100	$x$	$x$	$z$

когда один из них (независимо какой) был поляризован вдоль, а другой — перпендикулярно направлению  $H$ . Этот результат согласуется с поляризационными правилами отбора, вытекающими из теоретической модели изучаемого явления, учитывающей электрическое дипольное и спин-орбитальное взаимодействия.

Из сравнения полученных спектров фононного и спинового рассеяния света вытекает, что последнее относится к числу слабых эффектов. Вдали от линий оптического поглощения для дифференциального сечения атомного КРС [4] справедливо приближенное соотношение:

$$d\sigma/d\Omega \sim \left| \sum_i \frac{(e_{\Pi} \cdot D_{2i}) (D_{i1} \cdot e_p)}{E_i - E_1 - \hbar\omega} \right|^2, \quad (1)$$

где  $D$ ,  $E$ ,  $\omega$  — матричные элементы электрического дипольного момента, энергии уровней и частота света соответственно; индексы 1, 2 и  $i$  относятся к начальному, конечному и промежуточным состояниям КРС перехода. У ионов  $\text{Ce}^{3+}$  в  $\text{CeMgN}$  нижайший уровень  $5d$ -конфигурации, дающей наибольший вклад в сумму (1), удален от основного на  $3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$  [5], т. е. лежит выше виртуального состояния на  $\sim 10^4 \text{ см}^{-1}$ . Столь большая величина знаменателя в соотношении (1) делает качественно понятной причину низкой интенсивности наблюдавшегося явления.

Для других трехзарядных ионов лантаноидов, по-видимому, также не следует ожидать большого эффекта, так как их уровни  $5d$ -конфигурации располагаются еще выше. Прогноз благоприятнее для двухзарядных ионов этой группы и для ионов группы железа, обладающих интенсивными полосами поглощения в видимой области оптического спектра. В любом случае с приближением частоты лазерного излучения к линии оптического поглощения сечение спинового КРС должно возрастать.

В заключение отметим не критичность методики спинового КРС к величине зеемановских расщеплений спиновых уровней. Это обстоятельство становится особенно важным при исследовании парамагнетиков с широкими спиновыми уровнями магнитных ионов.

Казанский  
государственный университет  
им. В.И. Ульянова-Ленина

Поступила в редакцию  
10 апреля 1981 г.

## Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, В.Г.Жотиков, Кн. Проблемы магнитного резонанса. М., изд. Наука, 1978.
- [2] J.F.Scott. Rev. Progr. Phys., 43, 951, 1980.
- [3] Р.М.Валишев, А.Х.Хасанов. ФТТ, 12, 2847, 1970.
- [4] В.Б.Берестецкий, Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский. Квантовая электродинамика, М., изд. Наука, 1980.
- [5] E.Tataru, J.Boskovitz. Solid State comm., 23, 99, 1977.
-