

СВЕРХРАССЕЯНИЕ СВЕТА НА СПИНОВОЙ СИСТЕМЕ ПАРАМАГНИТНЫХ ИОНОВ

Б.И.Кочелав, Ю.Г.Назаров, А.Х.Хасанов

Обнаружено интенсивное комбинационное рассеяние света (КРС) на парамагнитных ионах, обусловленное когерентными спиновыми возбуждениями.

Ранее было показано ¹, что для парамагнитных ионов может наблюдаться спиновое КРС. Эффект оказался слабым, однако он может быть усилен на несколько порядков величины за счет создания когерентности в движении спинов путем наложения резонансного СВЧ поля. При полной когерентности рассеивающие центры эквивалентны ² N сфазированным излучателям, интенсивность результирующего излучения которых в направлении волнового синхронизма пропорциональна N^2 . В данной работе указанное сверхрассеяние света наблюдалось для ионов Ce^{3+} в кристаллах $\text{Ce}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}(\text{CMN})$ и $\text{La}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$: Ce^{3+} (5 ат. %) (LMN : Ce) при температуре 1,7 К в условиях насыщения ЭПР.

Экспериментально исследовалось рассеяние света под углом $\theta = 0^\circ$, для которого выполняется условие синхронизма световых волн, взаимодействующих с локализованными когерентными спиновыми возбуждениями. Кристаллический образец помещался в оптический криостат внутри СВЧ резонатора с нагруженной добротностью $Q = 65$. Направления внешних магнитных полей — стационарного H и СВЧ поля H_1 , а также направления и поляризации падающего и рассеянного света в образце показаны на рис.1. Насыщение ЭПР ионов Ce^{3+} осуществлялось на частоте $\nu_0 = 9,42$ ГГц СВЧ мощностью 400 мВт. Возбуждающий свет, излучаемый He — Cd-лазером (442 нм, 20 мВт), поляризованный либо параллельно, либо перпендикулярно направлению H ; распространялся строго вдоль оптической оси C кристалла. Рассеянный свет пропусклся через анализатор (установленный в отсутствие по-

ля H в положение полного гашения света), затем через трехпроходный интерферометр Фабри – Перо с контрастом $5 \cdot 10^5$ и интерференционный фильтр и падал на фотоэлектронный умножитель ФЭУ-79, подключенный через электрометрический усилитель к самописцу.

Спектр рассеянного света в CMN (рис.1), полученный при непрерывном насыщении ЭПР ионов Ce^{3+} в поле H , фиксированном вблизи максимума линии поглощения, содержит интенсивный дублет, компоненты которого смещены относительно частоты лазерного света точно на величину ν_0 . По оценкам сечение когерентного эффекта в пересчете на один ион Ce^{3+} превосходит соответствующую величину для 90° -ного спонтанного спинового КРС в том же кристалле ¹ в $\sim 10^5$ раз. Видное из рисунка 1 различие в интенсивностях стоксовой (S) и антистоксовой (AS) компонент дублета обусловлено конкуренцией оптической дисперсии и наведенного полем H двулучепреломления (эффект Коттона – Мутона), по разному влияющих на длину когерентности падающей и рассеянных световых волн в образце ². С изменением направлений электрических векторов E_{\parallel} , E_{\perp} на 90° соотношение интенсивностей стоксовой и антистоксовой компонент изменялось на обратное. Спектр аналогичного вида наблюдался и в кристалле LMN : Ce.

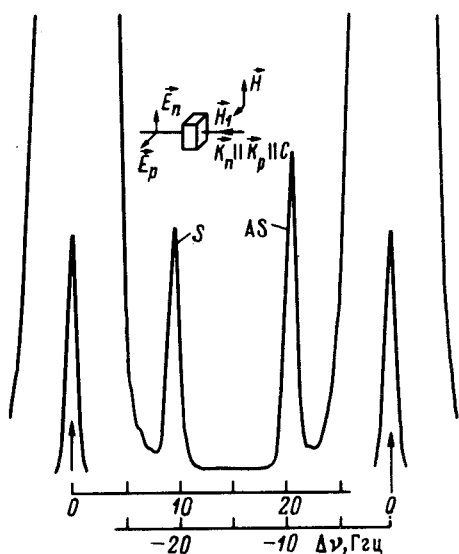


Рис.1. Схема наблюдения и спектрограмма когерентного спинового КРС в кристалле CMN

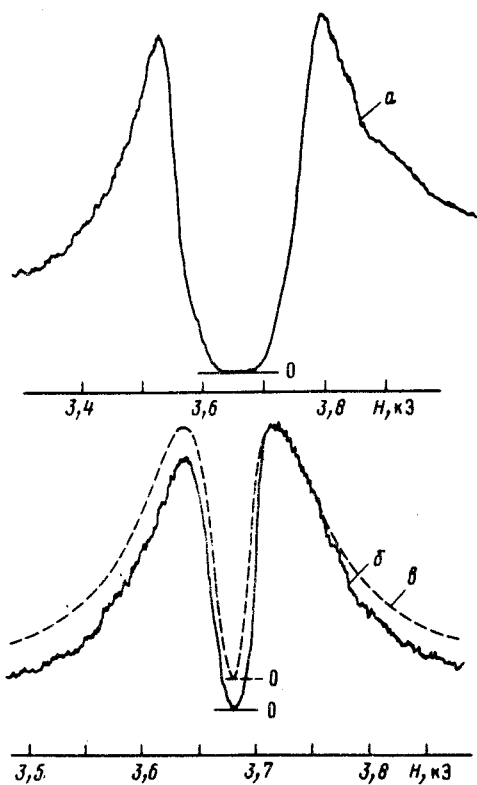


Рис.2. Зависимость интенсивности рассеянного света от напряженности магнитного поля: a – в CMN, b – в LMN : Ce, δ – аппроксимирующая функция (для наглядности смещена относительно „ b ” вверх на расстояние „ $0 - 0$ ”)

Рис. 2

На рис.2 представлены полевые зависимости эффекта, полученные путем регистрации интегральной интенсивности одной из компонент КРС дублета при медленной протяжке поля H через резонансное значение $H_0 = 3,68$ кГс, соответствующее g -фактору ионов Ce^{3+} $g_{\perp} = 1,84$. Качественный их вид нетрудно понять из феноменологических соображений. Действительно, интенсивность когерентного спинового КРС должна быть пропорциональна квад-

рату поперечной намагниченности, которая в реализованных условиях сильного насыщения определялась в основном составляющей, прецессирующей в фазе с вращающейся компонентой поля H_1 . Таким образом приведенные экспериментальные зависимости пропорциональны квадрату парамагнитной дисперсии насыщенных линий ЭПР ионов Ce^{3+} в двух образцах. Асимметрия линий на рис.2 в случае CMN обусловлена эффектом Коттона – Мутона (вклад которого в наблюдаемый спектр может быть учтен путем регистрации интенсивности спектрально несмещенной линии в зависимости от H), а в случае LMN : Ce, по-видимому, связан с асимметрией ненасыщенной линии ЭПР ионов Ce^{3+} , имеющей приблизительно лоренцову форму.

Спектр оптически детектируемого ЭПР в кристалле LMN : Ce удовлетворительно описывается соотношением, полученным из уравнений Провоторова (принята лоренцова форма линии) в приближении сильного насыщения

$$\chi'^2 \sim \left[\frac{H - H_0}{1 + T_{1Z}^{-1} D^{-2} T_D (H - H_0)^2} \right]^2, \quad (1)$$

где D – локальное поле, T_{1Z} и T_D – времена спин-решеточной релаксации зеемановского и дипольного резервуаров соответственно. Путем подгонки аппроксимирующей функции вида (1) по координатам максимумов экспериментальной кривой при известном значении $T_{1Z} = 16$ мс была найдена величина $D^2/T_D = 10^5$ Гс² · с⁻¹. Соответствующая функция изображена на рис.2, в.

Из рисунков 2, а и 2, б видно, что формы линии ЭПР в CMN и LMN : Ce заметно отличаются друг от друга (особенно в области между максимумами), что, по-видимому, обусловлено эффектом фононного узкого горла, играющего важную роль в спин-решеточной релаксации ионов Ce^{3+} в CMN³. Количественный анализ спектра ЭПР в этом кристалле с учетом указанного фактора может быть проведен на основании рассмотрения связанных кинетических уравнений³ для зеемановской, дипольной и фононной подсистем.

В заключение отметим, что наряду с исследованием спектров ЭПР представляет интерес использование методики когерентного спинового КРС также для изучения переходных процессов в спиновых системах, возникающих под действием импульсного СВЧ поля.

Литература

1. Альтшулер С.А., Назаров Ю.Г., Хасанов А.Х. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 525.
2. Romestain R., Geschwind S., Devlin G.E. Phys. Rev. Lett., 1974, 33, 10.
3. Альтшулер С.А., Валишев Р.М., Кочелаев Б.И., Хасанов А.Х. ЖЭТФ, 1972, 62, 639.

Поступила в редакцию

11 июля 1983 г.

После переработки

9 сентября 1983 г.

Казанский

государственный университет

им. В.И.Ульянова-Ленина