

СВЕТОВОЕ ЭХО В  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ 

В.В.Самарцев, Р.Г.Усманов, И.Х.Хадыев

Сообщается о наблюдении явления светового эха в кристалле  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ . Исследуются условия и особенности формирования этого когерентного отклика.

Метод светового эха [1 – 3] является перспективным в исследовании механизмов уширения резонансных линий, времен релаксаций, динамики генерации когерентных откликов, их формы и спектрального состава в кристаллах. Однако, все подробные исследования условий реализации этого эффекта в твердых телах до последнего времени были исключительно связаны с рубином в связи с трудностями достижения резонанса с соответствующим излучением лазера. Поэтому наблюдение этого явления в других кристаллах представляется весьма актуальным. В настоящей работе сообщается об обнаружении светового эха в другом кристалле –  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ . Исследуются условия и особенности формирования этого когерентного отклика при 2,2К на переходе  ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$ .

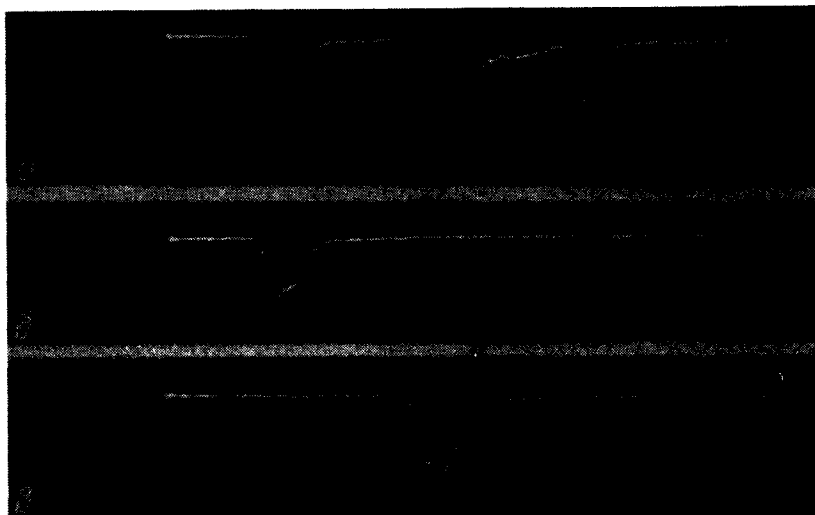


Рис. 1. Осциллограммы наблюдаемых сигналов в  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ : а – два возбуждающих лазерных импульса и сигнал светового эха (первый справа) в случае  $\tau = 64$  нсек; б – воздействие только первого лазерного импульса (эхо отсутствует); в – воздействие только второго импульса (эхо отсутствует)

Осциллограммы наблюдаемых в эксперименте сигналов изображены на рис. 1. На верхней осциллограмме зафиксирована совокупность двух возбуждающих импульсов при времени задержки второго из них —  $\tau = 64$  нсек и сигнал светового эха (первый справа) в момент времени  $2\tau$ . Нижние осциллограммы констатируют отсутствие сигнала эха в случае, если один из возбуждающих импульсов не подается.

На рис. 2 приведена блок-схема экспериментальной установки. Возбуждение на длине волны  $\lambda = 8767 \text{ \AA}$  осуществлялось с помощью оптического квантового генератора на растворе органического красителя — 1,1'-диэтилхинотрикарбоцианиниодида в диметилформамиде. Система накачки состояла из рубинового лазера с пассивной модуляцией добротности, который на длине волны  $\lambda_{\text{руб}} = 6943 \text{ \AA}$  генерировал оптические импульсы длительностью  $\Delta t \sim 20 + 35$  нсек и средней мощностью излучения  $\sim 40$  Вт. Время между импульсами —  $\tau$  с помощью линии задержки варьировалось в пределах  $20 + 120$  нсек. Сигналы фиксировались с помощью скоростного фотоумножителя ЭЛУ-ФТ с разрешением не хуже  $2,7$  нсек.

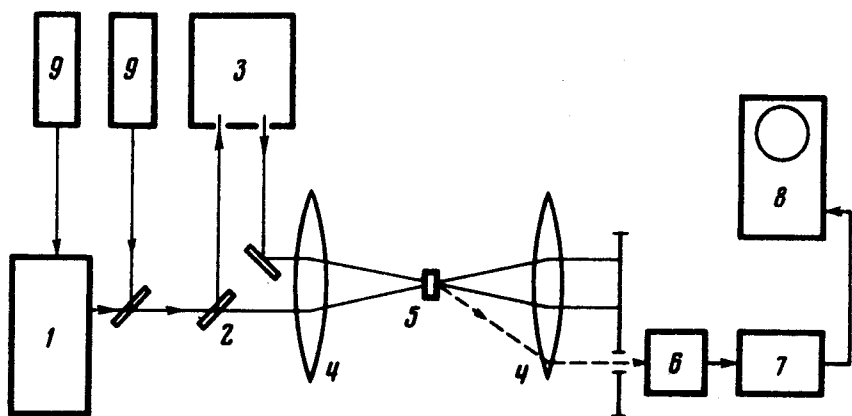


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки по наблюдению светового эха в  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ : 1 — оптический квантовый генератор на растворе органического соединения; 2 — делительная пластинка; 3 — оптическая линия задержки ( $\tau = 20 + 120$  нсек); 4 — фокусирующие линзы; 5 — исследуемый образец; 6 — ячейка Керра со скрещенными поляризационными призмами; 7 — скоростной фотоумножитель ЭЛУ-ФТ; 8 — скоростной осциллограф И2-7; 9 — юстировочные гелий-неоновые лазеры ЛГ-75

Рабочий образец, вырезанный из лазерного стержня  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ , представлял из себя куб с площадью поперечного сечения  $S = 0,25 \text{ см}^2$ . Концентрация ионов  $\text{Nd}^{3+}$  составляла  $\approx 0,5$  вес%. Оптическая ось кристалла лежала в плоскости образца и была перпендикулярна направлению воздействия возбуждающих импульсов. Оптический гелиевый криостат вместе с исследуемым образцом помещался между катушками Гельмгольца, позволявшими создавать постоянное горизонтальное магнитное поле  $\sim 50 + 200$  Гс. Нам не удавалось зафиксировать световое эхо в нулевом магнитном поле.

Расположение термов мультиплетов  ${}^4I$  и терма  ${}^4F_{3/2}$  иона  $Nd^{3+}$  в кристалле  $CaWO_4$  изображено на рис. 3 [4].

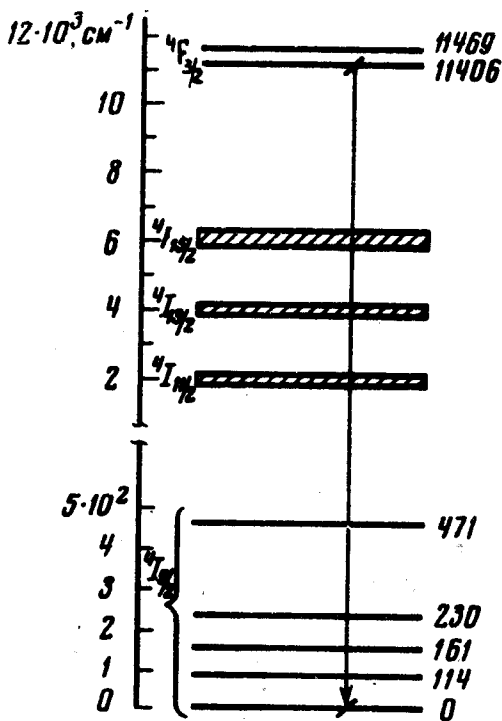


Рис. 3. Схема энергетических уровней иона  $Nd^{3+}$  в  $CaWO_4$ .

Время продольной релаксации  $-T_1$  на переходе  ${}^4I_{9/2} \leftrightarrow {}^4F_{3/2}$  составляет  $\approx 10^{-4}$  сек. Оценки времени поперечной необратимой релаксации  $-T_2$ , связанной магнитным и электрическим диполь-дипольным взаимодействием, дают значения  $\geq (5+7) \cdot 10^{-8}$  сек. Сверхтонкие и суперсверхтонкие взаимодействия характеризуются несколько более длинными временами релаксации. Оценки скоростей релаксации, связанных а) орбаховским процессом  $1/\tau_{orb} \sim \Delta^3 \exp(-\Delta/k_B T)$  и б) рамановскому процессу  $1/\tau_{Ram} \sim \Delta^{-4} T^9$  (где  $\Delta$  – расщепление между каким-либо из резонансных энергетических подуровней и ближайшим нерезонансным подуровнем,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура), показывают значения, не превышающие  $10^8$  сек $^{-1}$ . Исследование спектров люминесценции и поглощения позволило найти время поперечной обратимой релаксации:  $T_2^* \sim 10^{-11}$  сек. Таким образом в формировании эха участвовала лишь часть "спиновых пакетов" неоднородно-уширенной линии.

Из вышесказанного следует, что необходимые для наблюдения светового эха условия в нашем эксперименте выполнялись.

Экспериментально было установлено, что волновой вектор светового эха  $k_3$  удовлетворяет следующему условию пространственного синхронизма:  $k_3 = 2k_2 - k_1$ , где  $k_1$  и  $k_2$  — волновые векторы возбуждающих импульсов. Кроме того, имела место корреляция между формой эха и формой возбуждающих импульсов, связанная с особенностями формирования светового эха в случае, когда  $\Delta t \gg T_2^*$  [5, 6]. Отметим, что теория [5, 6] объясняет также малость интенсивности эха по сравнению с интенсивностью импульсов наличием в случае  $\Delta t > T_2^*$  множителя  $\left(\frac{3}{4} \frac{T_2^*}{\Delta t}\right)^2$ . Анализ показал, что в случае когда векторы поляризаций

обоих линейно-поляризованных импульсов параллельны между собой, сигнал эха имеет также линейную поляризацию, совпадающую с поляризацией импульсов.

Ширина линии излучения оптического квантового генератора была  $\sim 0,5 + 0,6$  нм. При изменении длины волны возбуждения на  $0,5 + 0,8$  нм сигнал светового эха исчезал. Обратим внимание и на то обстоятельство, что при изменении направления оптической оси кристалла относительно  $k_1$  на  $90^\circ$  эхо заметно уменьшалось.

В случае, когда дифракционная решетка в лазере на красителе заменялась плоским зеркалом (это приводит к уширению спектра излучения до 30 нм) сигнал светового эха исчезал. Это обстоятельство связано с тем, что в подобных условиях становится невозможным выполнение условий для получения  $\pi/2$  и  $\pi$ -импульсов.

Казанский

физико-технический институт  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
23 мая 1975 г.

### Литература

- [1] У.Х.Копвиллем, В.Р.Нагибаров. ФММ, 15, 313, 1963; У.Х.Копвиллем, В.Р.Нагибаров, В.А.Пирожков, В.В.Самарцев, Р.Г.Усманов. ФТТ, 14, 1794, 1972; Письма в ЖЭТФ, 20, 139, 1974.
- [2] I.D.Abella, N.A.Kurnit, S.R.Hartmann. Phys. Rev. Lett., 13, 567, 1964; Phys. Rev., 141, 391, 1966.
- [3] S.Chandra, N.Takeuchi, S.R.Hartmann. Phys. Lett., 41A, 91, 1972.
- [4] Я.Э.Карисс, А.М.Морозов, П.П.Феофилов. Оптика и спектроскопия, 17, 887, 1964.
- [5] А.Г.Шагидуллин. Сб. "Световое эхо" изд. КГПИ, Казань, стр. 107.
- [6] А.И.Алексеев, И.В.Евсеев. ЖЭТФ, 68, 456, 1975.