

ТЕПЛОВАЯ САМОФОКУСИРОВКА И ПРОБОЙ В КРИСТАЛЛАХ NaCl, KBr И CsJ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА.

Н.В.Карлов, Г.П.Кузьмин, А.М.Прохоров

В этой статье сообщается о полученном впервые эффекте тепловой самофокусировки на волне 10 мк и пробое кристаллов, прозрачных в инфракрасной области, под действием излучения импульсного CO₂-лазера. Обнаружено, что при облучении кристаллов NaCl, KBr и CsJ сфокусированным мощным излучением импульсного CO₂-лазера наблюдаются два вида пробоя в толще кристалла (электрический и тепловой). При электрическом пробое в кристалле вырисовывается цокальная область, длина которой на порядок больше вычисленной из представлений геометрической оптики. При возникновении мощного теплового пробоя наблюдается довольно быстрое перемещение точки пробоя навстречу излучению. Величина перемещения сравнима с видимой фокальной длиной при электрическом пробое. При повышении мощности происходит разбиение следа в фокальной области на несколько (до четырех) тонких светящихся полосок, общая толщина которых ~ 1 мк.

Тепловая самофокусировка и дефокусировка достаточно хорошо изучены в газах и жидкостях [1 – 3]. В работе [4] наблюдалась внешняя тепловая самофокусировка в кристаллах при $dn/dT > 0$.

Кристаллы NaCl, KBr и CsJ интересны тем, что они прозрачны в 10-микронной области. Для них $dn/dT < 0$. При однородном пучке, проходящем через среду с $dn/dT < 0$, возможна лишь тепловая дефокусировка. Если пучок излучения имеет вблизи оси интенсивность, меньшую чем по краям, то при $dn/dT < 0$ возможна так называемая "банановая" самофокусировка [2, 3].

Согласно [1, 2] из-за нагрева среды при поглощении излучения изменение показателя преломления

$$\delta n_T = n_{2T} E^2 = (\alpha c E^2 / 4\pi C\rho) (dn/dT) r,$$

где α – коэффициент поглощения, c – скорость света, C – удельная теплоемкость, ρ – плотность вещества. Для NaCl $dn/dT = 2,2 \cdot 10^{-5}$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-4} \text{см}^{-1}$, $C = 2 \cdot 10^{-1} \text{дж} \cdot \text{г} / \text{град}$, $\rho = 2,17 \text{г} / \text{см}^3$. При этих значениях коэффициент $n_{2T} = 5 \cdot 10^{-6} \text{г}$, что при длительностях импульсов излучения τ в несколько сотен нсек дает вклад, сравнимый с вкладом эффекта Керра в жидкостях, в которых наблюдается самофокусировка излучения рубинового лазера ($n_2 = 10^{-11} \text{CCSE}$).

В нашей работе на кристаллы NaCl, KBr и CsJ фокусировалось излучение $\lambda = 10,6$ мк, полученное от CO₂-лазера с двойной модуляцией [5], состоящего из двухметрового задающего генератора и трех усилителей общей длиной 8 м. При длительностях импульса излучения от 100 до 250 нсек пиковая мощность достигала 200 квт. Частота следования импульсов излучения составляла 50 гц. Поперечное сечение лазерного пучка имеет форму кольца с внешним диаметром ~ 50 мк и внутренним ~ 35 мк. Пучок фокусировался в толще исследуемых кристаллов соляной линзой с фокусным расстоянием $f = 100$ мк. При расходимости излучения лазера $\phi = 5 \cdot 10^{-3} \text{рад}$ длина фокальной области должна

составлять $z = \phi f / h = 2 \text{ мм}$, где $h = 25 \text{ мм}$ — радиус фокусируемого пучка. Однако, при прохождении сфокусированного излучения через кристаллы наблюдается искрящийся след в виде тонкой нити длиной до 20 мм. На рис. 1, а, выполненном с выдержкой 0,5 сек, видно около 25 ярких точек, каждая из которых соответствует электрическому пробую в толще кристалла. В работе [6] при

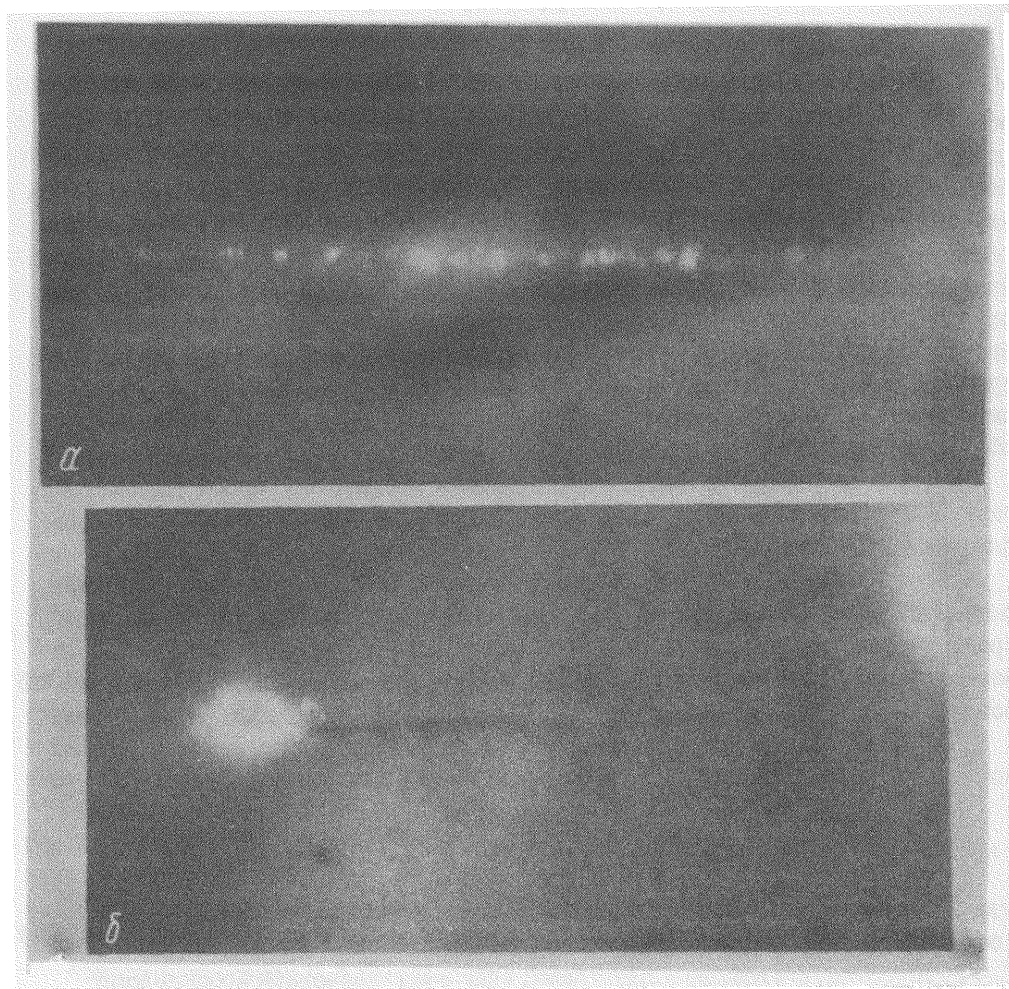


Рис. 1. Картина пробоя в кристалле NaCl. Лазерное излучение распространяется слева направо. Длина нити — 2 см. а — электрической пробой, б — тепловой пробой

самофокусировке излучения рубинового лазера в стекле, обусловленной механизмом типа керровского, наблюдалось появление нескольких ярких точек в течение одного прямоугольного импульса. Полученная в [6] картина точечных разрушений связывалась с дискретной многофокусной моделью самофокусировки [7]. В отличие от [6] в рассматриваемом сейчас случае образцы облучались

непрерывной последовательностью импульсов колоколообразной формы, и каждая яркая точка соответствует одному импульсу излучения CO_2 -лазера.

Через несколько секунд в одной из точек происходит яркая вспышка, значительно более мощная, чем при электрическом пробое, которая медленно, с секундными временами, движется навстречу излучению (к линзе) (рис. 1, б). Это явление мы приписываем тепловому пробое в кристалле. Действительно, из [8] следует, что для электрического пробоя в NaCl требуется напряженность электрического поля $1,5 \cdot 10^6$ в/см, а для теплового пробоя, который наступает при повышении температуры среды до $200^\circ\text{C} - 10^4$ в/см. Для KBr и CsJ пробивные напряжения значительно меньше, что и наблюдается в нашем эксперименте. Следует отметить характерный вид остаточных явлений после пробоя. В кристаллах NaCl следы разрушений имеют черный цвет, у кристаллов KBr и CsJ — голубой. Точки разрушения обрамлены блестящими лепестками. На рис. 2 помещена фотография куба из NaCl , разрушенного излучением, сфокусированным со стороны различных граней.

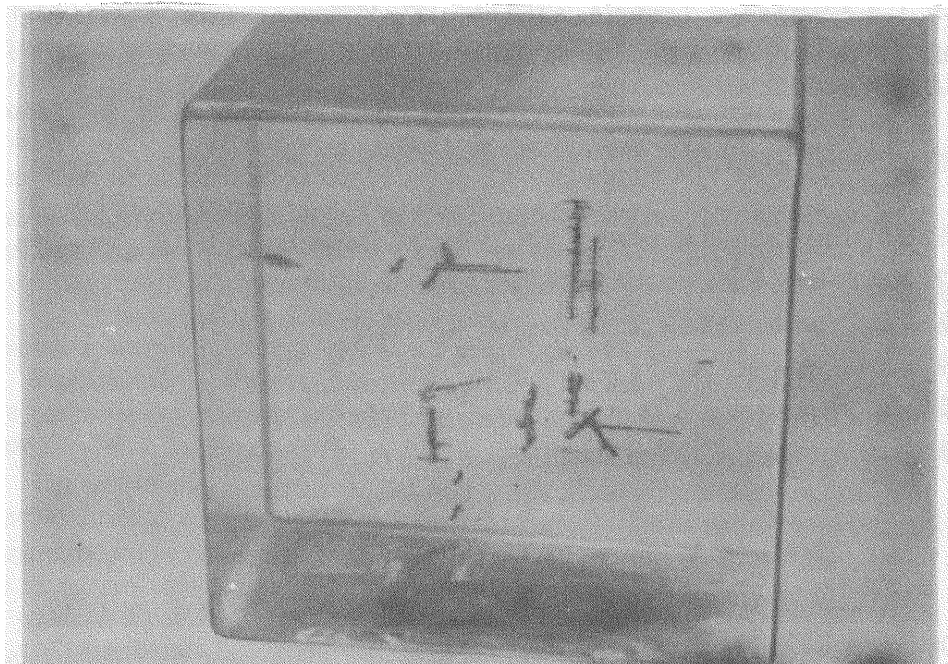


Рис. 2. Разрушение кристалла NaCl при самофокусировке

В работе [9] определен порог разрушения кристаллов NaCl под действием излучения мощного рубинового лазера с длительностью импульса излучения ~ 7 нсек. Этот порог наступает при плотности излучения $\sim 2 \cdot 10^9$ вт/см², что соответствует напряженности поля $1,5 \cdot 10^6$ в/см. Это позволяет заключить, что в нашем случае диаметр луча в фокальной области (рис. 1) не превышал 10^{-2} см, что может быть только следствием самофокусировки.

При укорочении импульса излучения до 50 нсек (и, следовательно, при повышении мощности) происходит разбиение луча в фокальной области на несколько сходящихся полосок. Это явление можно объяснить на основании работ [10, 11], где показано, что при значительном превышении критической мощности при самофокусировке происходит разбиение пучка на отдельные более тонкие за счет неоднородности фронта волны.

Таким образом, облучение и пробой кристаллов, прозрачных в инфракрасной области, мощным импульсным излучением CO_2 -лазера позволило непосредственно наблюдать тепловую самофокусировку 10-микронного излучения в твердых телах с $dn/dT < 0$.

Авторы благодарны Е.К.Карловой за помощь в проведении эксперимента.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 сентября 1970 г.

Литература

- [1] А.Г.Литвак. Письма в ЖЭТФ, 4, 341, 1966.
- [2] Г.А.Аскарьян, Б.Б.Студенов. Письма в ЖЭТФ, 10, 113, 1969.
- [3] Г.А.Аскарьян, И.Л.Чистый. ЖЭТФ, 58, 133, 1970.
- [4] С.А.Ахманов, Ю.А.Горохов, Д.П.Криндач, А.И.Сухоруков, Р.Б.Хохлов. Тезисы докладов на 4-ом Симпозиуме по нелинейной оптике (г. Киев) изд. МГУ, Москва, 1968.
- [5] Н.В.Карлов, Г.П.Кузьмин, А.М.Прохоров, Б.И.Шемякин. ЖЭТФ, 54, 1318, 1968.
- [6] Н.И.Липатов, А.А.Маненков, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 11, 444, 1970.
- [7] А.Л.Дышко, Б.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 6, 655, 1967.
- [8] Г.И.Сканави. Физика диэлектриков. М., 1958.
- [9] D.Olness. Appl. Phys. Lett., 8, 2836, 1966.
- [10] Б.И.Геспалов, В.И.Таланов. Письма в ЖЭТФ, 3, 471, 1966.
- [11] Б.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 7, 153, 1968.

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 366 – 371

5 октября 1970 г.

БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКАЯ КОНДЕНСАЦИЯ ЭКСИТОНОВ В КРИСТАЛЛЕ CdSe

И.Х.Акопян, Е.Ф.Гросс, Б.С.Разбирин

Цель этой работы — экспериментальные поиски явления бозе-конденсации экситонов ¹⁾.

Выбор кристалла CdSe определялся тем, что в нем, по-видимому преобладают не силы притяжения между экситонами, а силы отталкивания [2], что является, как известно [1, 3] условием для бозе-конденсации экситонов.

¹⁾ Подробный список литературы по бозе-эйнштейновской конденсации экситонов приведен в монографии Москаленко [1].