

## ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ГРАДИЕНТОВ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫХ УЛЬТРАКОРОТКИМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ В ЖИДКОСТИ

П. Г. Крюков, Ю. А. Матвеец, С. В. Чекалин

Как известно [1, 2], самофокусировка и самомодуляция ультракоротких лазерных импульсов (УКИ) приводит к существенному ограничению их мощности, поэтому изучение изменений показателя преломления  $n$ , приводящих к указанным явлениям, под действием УКИ представляет особый интерес. В данной работе впервые наблюдались непосредственно градиенты  $n$ , возникающие при фокусировке одиночных УКИ в жидкость.

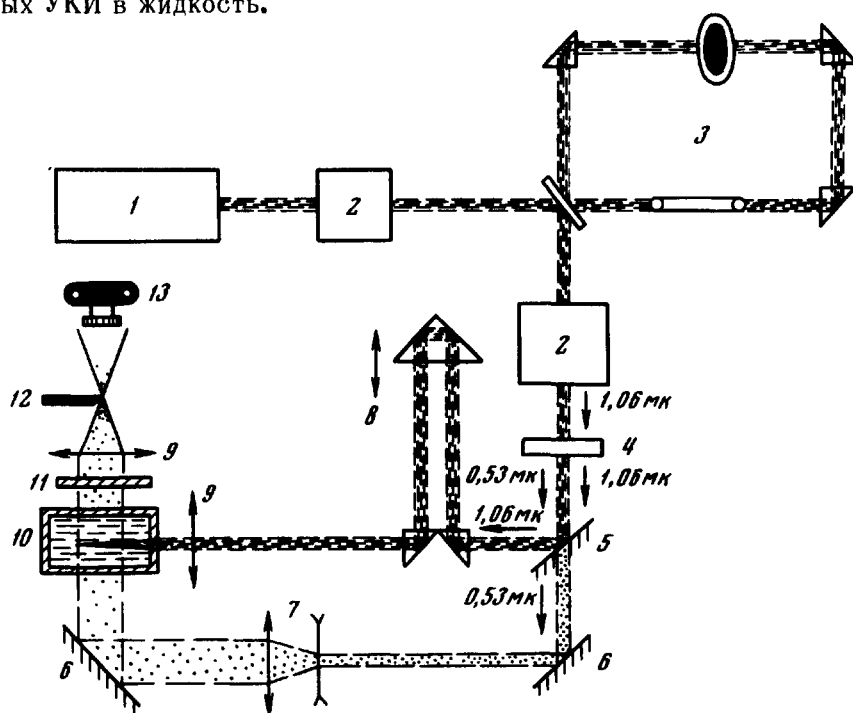


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – генератор УКИ; 2 – схема выделения одиночного УКИ из цуга; 3 – устойчивая двухкомпонентная среда; 4 – преобразователь во вторую гармонику; 5 – зеркало, отражающее излучение с  $\lambda = 1,06 \mu\text{м}$ ; 5 – зеркало, отражающее излучение с  $\lambda = 0,53 \mu\text{м}$ ; 7 – телескоп; 8 – регулируемая оптическая задержка; 9 – фокусирующие линзы; 10 – кювета с исследуемой жидкостью; 11 – светофильтр СЭС-22; 12 – нож шлирен-схемы; 13 – фотоаппарат

Эксперимент проводился по схеме рис. 1. Одиночный УКИ длительности не более 20 псек (предельное разрешение скоростного фоторегистратора) с энергией  $\sim 10^{-2}$  Дж фокусировался линзой с фокусом 5 см в центр кюветы длиной 5 см с исследуемой жидкостью. Градиен-

ты  $n$  фотографировались с помощью шлирен-схемы сбоку кюветы, причем подсветка производилась тем же УКИ, преобразованным во вторую гармонику ( $\lambda = 0,53 \text{ мк}$ ) и задержанным во времени. Время задержки могло меняться в широких пределах с точностью до 3 *нсек*, так что имелась возможность проследить динамику развития градиентов  $n$ ; при этом временное разрешение метода (время экспозиции фотографии) не превышало длительности УКИ. Одиночный УКИ, используемый в эксперименте, предварительно пропускался через устойчивую двухкомпонентную среду, позволявшую наряду с усилением улучшить параметры УКИ (контраст и длительность) [3]. Нож шлирен-схемы устанавливался таким образом, что на фотографиях могли регистрироваться градиенты  $dn/dx$ , удовлетворяющие условию  $\ell(dn/dx) \geq 8 \cdot 10^{-3}$ , где  $\ell$  — размер неоднородности в направлении подсвечивающего луча.

Проведенные эксперименты показали следующее.

1. Градиенты  $n$  возникают в жидкостях под действием одиночного УКИ, причем эффект носит пороговый характер. С точностью до порядка порог одинаков для этанола и нитробензола и равен  $\sim 10^{-2} \text{ Дж}$ .

2. Градиенты  $n$  возникают в обеих жидкостях за время  $\leq 5 \text{ нсек}$ .

3. В нитробензоле возникшие градиенты имеют вид сильно неоднородных конических (иногда цилиндрических) образований длиной от 3 до 5 *мм* с минимальным поперечным размером  $\sim 100 \text{ мк}$ . Внутри этих конусов содержатся тонкие (не толще 10 *мк*) нити, длина которых колеблется от нескольких десятков микрон до 5 *мм* (возможно они бывают еще длиннее, но при этом выходят за поле зрения регистрирующей системы). Тонкие нити обычно располагаются в местах наибольшего градиента поля — по краям и по оси конусов (рис. 2 а, б). Такая картина соответствует наблюдавшимся в работе [4] крупномасштабным нитям. В этаноле не наблюдается крупномасштабных нитей, а в начальный момент появляется лишь одна тонкая ( $\sim 10 \text{ мк}$ ) нить длиной не более 3 *мм*, довольно неоднородная по длине (рис. 2, в).

4. Крупномасштабные нити в нитробензоле существуют приблизительно 1 — 2 *нсек*, затем исчезают.

5. В обеих жидкостях от тонких нитей или от отдельных точек возникшего вначале скачка  $n$  распространяются соответственно цилиндрические или сферические ударные волны со скоростями, сначала несколько превышающими звуковую (рис. 2, г — ж). Примерно через 30 *нсек* скорости ударных волн сравниваются со звуковой. Волны имеют очень резкий передний фронт и более пологий и довольно "рваный" задний.

6. Возникшие в самом начале в виде точек или нитей градиенты наблюдаются в центре ударной волны в течение по крайней мере 120 *нсек* с момента появления, причем их размеры не меняются со временем. Градиенты становятся заметными внутри волны только при достаточно больших задержках (75 и 120 *нсек*). Это, по всей видимости, связано с тем, что к этому времени внутри ударной волны создается достаточно большое разрежение.

7. Из фотографий для больших задержек видно, что в нитробензоле возникают градиенты как в виде нитей, так и в виде отдельных

точек, тогда как в этаноле наблюдаются либо отдельные точки, либо сгущения точек (рис. 2, *г* – *ж*).

8. При последовательном воздействии нескольких УКИ в нитробензоле последующие импульсы "захватываются" градиентами  $n$ , созданными предыдущими УКИ. Такой "захват" происходит либо в самих нитях (рис. 2, *и*), либо в исходящих от них ударных волнах (рис. 2, *э*), если эти волны еще не вышли из пределов фокального объема. Образование каких-либо "новых" градиентов при воздействии последующих импульсов не наблюдается, то есть в чистом виде происходит самофокусировка только первого импульса последовательности. То же

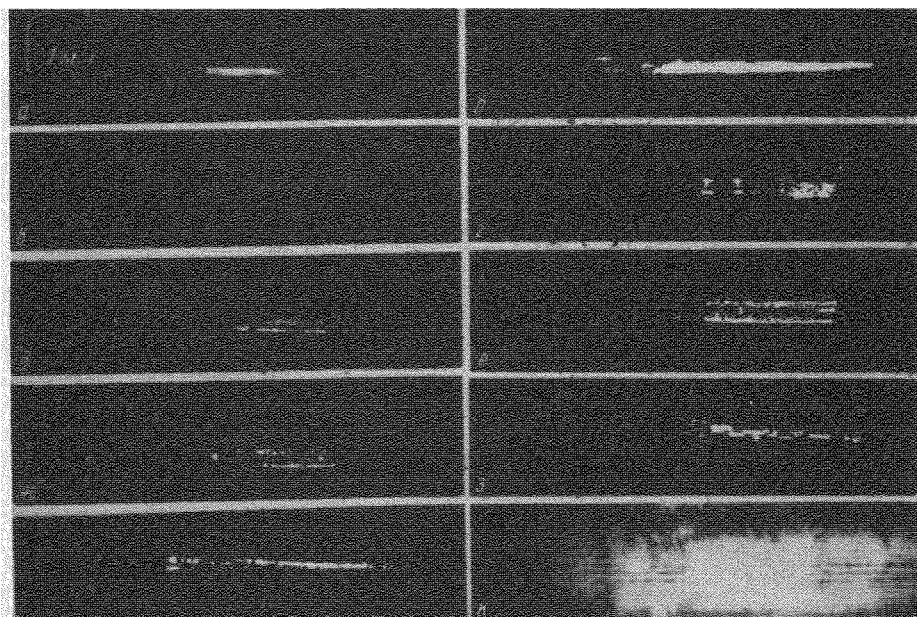


Рис. 2. Шлирен-фотографии градиентов  $n$ : *а* – нитробензол и *в* – этанол, начальный момент; *б* – нитробензол, задержка 1 *нсек*; *г* – нитробензол и *д* – этанол, задержка 75 *нсек*; *е* – нитробензол и *ж* – этанол, задержка 120 *нсек*; *з*, *и* – нитробензол, случай двух последовательных импульсов, разделенных 10 *нсек*; *к* – нитробензол, случай цуга УКИ. Направление лазерного луча слева направо. Градиент  $n$  направлен вверх (нож горизонтален)

самое происходит в этаноле, но "захвата" последующих импульсов в этом случае не наблюдается.

Итак, динамика явления сводится к следующему. В жидкости под действием УКИ за очень короткое время возникают градиенты  $n$ , приводящие к самофокусировке излучения. Самофокусировка вызывает быстрый локальный нагрев жидкости, в результате которого от об-

ластей нагрева (нитей или точек) распространяются ударные волны. Области локального нагрева медленно рассасываются со скоростью тепловой диффузии. Если в жидкость приходит следующий УКИ, то он встречает в фокальной области градиенты  $n$  в ударной волне и в областях локального нагрева в центре ударной волны; эти градиенты могут "захватить" часть энергии УКИ, что приводит к еще большему увеличению  $n$  в областях локализации градиента. Внутри ударной волны образуется область разрежения, в которой самофокусировка затруднена. На рис. 2, *к* представлена шпирен-фотография, полученная с цугом УКИ в нитробензоле. В центре фотографии видны яркие сходящиеся нити и распространяющиеся от них ударные волны — наложение многих мгновенных картин от каждого импульса цуга. В отличие от картин для одного импульса нити здесь выглядят более яркими, чем волны, так как они существуют в течение всего цуга УКИ и дают одинаковую картину для каждого импульса. Фотографии такого же типа, снятые в скрещенных поляроидах, были получены в работе [5], однако авторы ошибочно отождествили ударные волны с нитями самофокусировки.

Авторы благодарны А.Н.Жерихину, Е.В.Кургановой, С.А.Чуриловой за помощь в работе, а также С.Д.Захарову и В.Рагульскому за обсуждение.

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

Поступила в редакцию  
22 декабря 1971 г.

### Литература

- [ 1 ] Н.Г.Басов, И.Кертес, П.Г.Крюков, Ю.А.Матвеец, Ю.В.Сенатский, С.В.Чекалин. ЖЭТФ, **60**, 533, 1971.
- [ 2 ] M.A.Duguay et al. IEEE J., QE-6 , 725, 1970.
- [ 3 ] Н.Е.Быковский, В.Кан, П.Г.Крюков, Ю.А.Матвеец, Н.Л.Ни, Ю.В.Сенатский. Квантовая электроника, в печати.
- [ 4 ] R.Y.Chiao et al. IEEE J., QE-2 , 467, 1966.
- [ 5 ] F.Shimizu, B.P.Stoicheff. IEEE J., QE-5, 544, 1969.