

СВЕРХКОРОТКИЕ ИМПУЛЬСЫ ВКР И МНОГОФОКУСНАЯ СТРУКТУРА СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

*В. В. Коробкин, В. Н. Луговой, А. М. Прохоров,
Р. В. Серов*

В 1966 г. Майером и др [1, 2] были обнаружены сверхкороткие импульсы первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Эти импульсы возникали в конце кюветы с исследуемой жидкостью и распространялись в обратном по отношению к лазерному лучу направлении. В этих же работах указывалось на корреляцию возникновения этих импульсов с появлением так называемых "филаментов"; возникающих при распространении достаточно мощного излучения в нелинейной среде. Позже Лой и Шен [3] обнаружили, что рассматриваемые импульсы возникают также и внутри кюветы. Предложенное в [3] объяснение состоит в том, что эти импульсы обусловлены движущимися фокусами и возникают в тот момент, когда скорость фокуса, движущегося навстречу падающему лучу, равна скорости света в среде.

В настоящей работе мы обращаем внимание на возможность другого механизма возникновения сверхкоротких импульсов первой стоксовой компоненты ВКР. Этот механизм связан с тем, что в быстро движущихся фокальных областях многофокусной структуры светового пучка процесс ВКР вообще говоря, оказывается нестационарным. Эта нестационарность видна из следующих оценок.

Действительно, данные по измерению абсолютных значений сечения и ширины линии комбинационного рассеяния [4, 5] показывают, что для типичных жидкостей (сероуглерод, толуол и т. д.) усиление первой стоксовой компоненты в стационарном режиме на длине фокальной области ($0,1 \div 0,5$ см) может превышать величину e^{100} . Характерное время $\tau_{\text{ВКР}}$ установления стационарного режима ВКР, как известно [6, 7], можно оценить из условия $\tau_{\text{ВКР}} \sim K \tau_{\text{кр}}$, где $K \sim 100$ – фактор усиления, $\tau_{\text{кр}}$ – обратная величина от полуширины линии спонтанного комбинационного рассеяния, которая для рассматриваемых веществ $\sim 10^{-11}$ сек. Таким образом $\tau_{\text{ВКР}} \sim 10^{-9}$ сек. В то же время характерное время τ пребывания фокальной области в данной точке среды меньше 10^{-10} сек [8]. Поскольку в рассматриваемых условиях $\tau < \tau_{\text{ВКР}}$, ясно, что процесс ВКР является нестационарным. Поэтому его эффективность зависит от скорости движения фокусов. Эта скорость в течение лазерного импульса может меняться в широких пределах от величины порядка скорости света в среде до нуля (в точках поворота) [8, 9].

С уменьшением скорости движения фокуса в некоторый момент процесс ВКР может оказаться в достаточной степени эффективным, так что энергия фокальной области будет преобразовываться в энергию первой стоксовой компоненты ВКР. Таким образом, на пути движения фокальной области от выходной плоскости среды к точке поворота возможно возбуждение сверхкороткого импульса первой стоксовой компоненты ВКР.

Если это возбуждение происходит в непосредственной близости к точке поворота, то импульсы первой стоксовой компоненты ВКР могут возникать как в прямом, так и в обратном направлениях. Длительность этих импульсов может быть l_{ϕ} / v , где l_{ϕ} – длина фокальной области, v – скорость света в среде. Если, однако, время исчезновения фокальной области меньше, чем величина l_{ϕ} / v , то длительность импульса будет определяться именно временем исчезновения фокальной области.

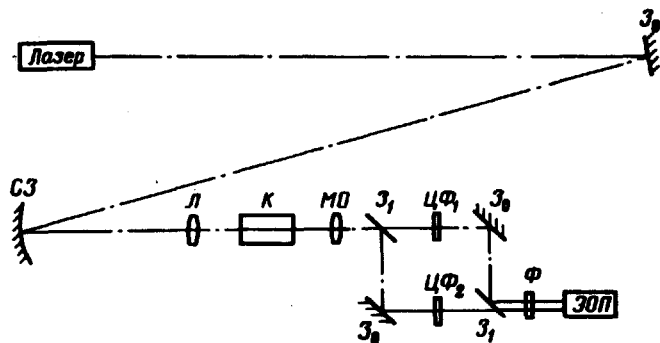


Рис. 1, а. Схема эксперимента по исследованию самофокусировки и ВКР с выходного торца кюветы: Z_0 – полностью отражающие зеркала, Z_1 – полупрозрачные зеркала, CZ (сферическое зеркало) и L (линза) образуют телескоп, K – кювета длиной 10 см с исследуемой жидкостью, MO – микрообъектив, Φ – нейтральные фильтры, ЦФ_1 – фильтр, пропускающий только излучение ВКР, ЦФ_2 – фильтр, пропускающий только излучение лазера

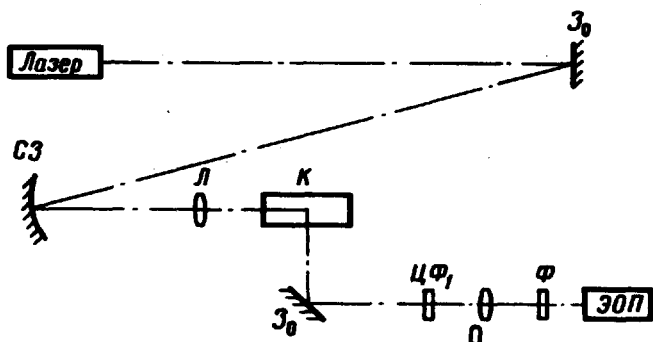


Рис. 1, б. Схема эксперимента по исследованию возникновения и распространения импульсов ВКР: O – объектив, отображающий плоскость кюветы, в которой распространяется световой пучок на фотокатод электроннооптического преобразователя (ЭОП). Остальные обозначения такие же, как на рис. 1, а.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Использовался рубиновый лазер, работавший в режиме одной угловой и одной аксиальной моды TEM_{00} . Длительность импульса по полуширине ~ 12 нсек при максимальной мощности ~ 3 Вт. Длина кюветы — 10 см, полуширина входного распределения ~ 300 мк. Исследование проводилось с помощью электронно-оптической камеры, работавшей в режиме линейной развертки. В первой серии экспериментов (рис. 1, а) с выходного торца кюветы исследовалась корреляция между многофокусной структурой и сверхкороткими импульсами первой стоксовой компоненты ВКР в прямом направлении. Типичная фотография, полученная для нитробензола, приведена на рис. 2, а. На фотографии внизу видно последовательное прохождение фокусов многофокусной структуры через выходной торец кюветы, вверху — сверхкороткие импульсы ВКР. Эти

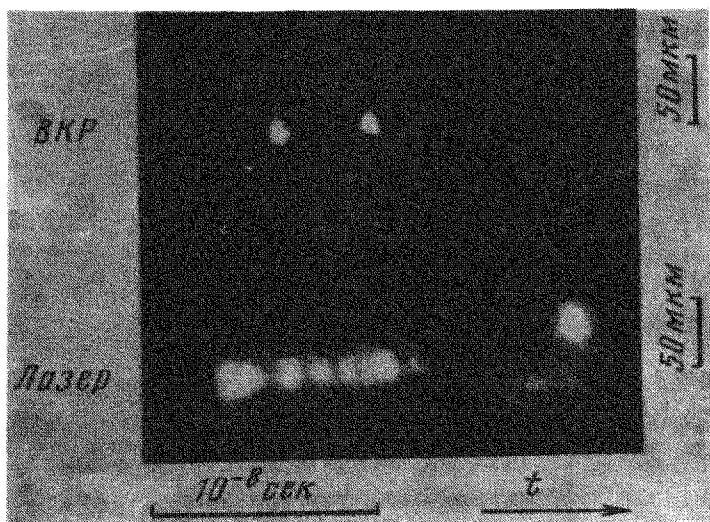


Рис. 2, а. Временная развертка фокусов многофокусной структуры и сверхкоротких импульсов ВКР (вид с торца)

импульсы всегда наблюдались только после прохождения первого фокуса. Точки ВКР и точки, соответствующие лазерному излучению совпадают на выходном торце кюветы с точностью до 20 мк. Во второй серии экспериментов (рис. 1, б) исследовался процесс возникновения ВКР при наблюдении в рассеянном свете на длине волны ВКР сбоку кюветы. Типичная фотография приведена на рис. 2, б. Видно, что импульсы ВКР распространяются в среде со скоростью света, причем преимущественно в обратном направлении, но примерно в 25% всех случаев ВКР наблюдается как в прямом, так и в обратном направлениях. Точки, в которых возникают импульсы ВКР, распространяющиеся только назад, лежат ближе к концу кюветы, где фокусы многофокусной структуры движутся со значительной скоростью, в то время как точки возникновения ВКР в обоих направлениях примерно соответст-

вуют местам остановки фокусов многофокусной структуры. Эти результаты находятся в хорошем согласии с развитыми выше представлениями.

Отметим также, что хотя импульсы ВКР возникают на расстоянии порядка нескольких сантиметров от торцов кюветы в областях с поперечным размером порядка нескольких микрон, на выходе из кюветы они имеют поперечный размер $\sim 10 \text{ мк}$ при длительности $< 10^{-10} \text{ сек}$ (рис. 2, а). Это показывает, что мощность импульсов ВКР больше критической и они испытывают нелинейную рефракцию. Следовательно, распространение импульсов ВКР по среде должно сопровождаться образованием многофокусной структуры (вторичной) внутри этих им-

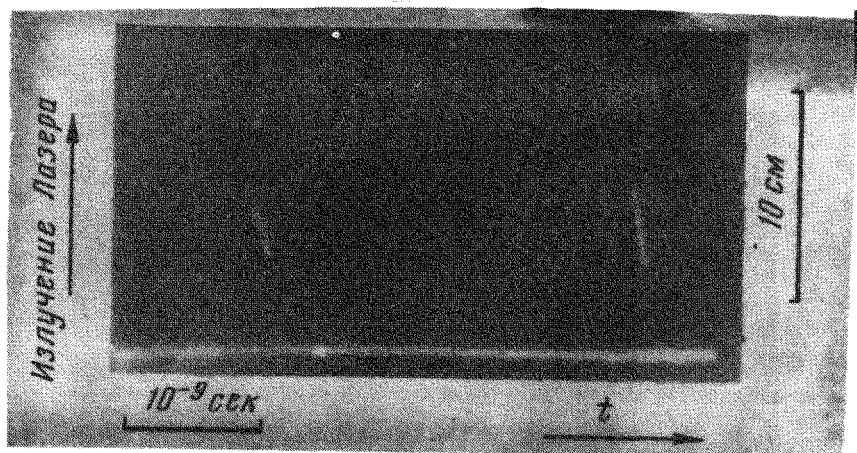


Рис. 2, б. Временная развертка возникновения и развития импульсов ВКР (вид с боку). Наклон линий соответствует скорости света в веществе

пульсов [10]. И действительно, на фотографиях сбоку видно, что на пути движения самих импульсов ВКР имеются яркие точки, которые, по-видимому, отвечают точкам остановки фокусов этой вторичной многофокусной структуры [11 - 12].

Таким образом, приведенные в настоящей статье результаты свидетельствуют в пользу нестационарной модели возникновения сверхкоротких импульсов ВКР.

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

Поступила в редакцию
25 октября 1972 г.

Литература

- [1] M.Maier, W.Kaiser, J.A. Giordmaine. Phys. Rev. Lett., 17, 1275, 1966.
- [2] M.Maier, W.Rother, W.Kaiser. Phys. Lett., 23, 83, 1966.
- [3] M.M.T.Loy, J.R.Shen. Appl. Phys. Lett., 19, 285, 1971.
- [4] Y.Kato, H.Tokuma. JOSA, 61, 347, 1971.
- [5] W.R.L.Clements, B.P.Stoicheff. Appl. Phys. Lett., 12, 246, 1968.

- [6] N.Kroll. *J. Appl. Phys.*, **36**, 34, 1965.
- [7] Б.Я.Зельдович. Письма в ЖЭТФ, **15**, 226, 1972.
- [8] В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, **7**, 153, 1968.
- [9] В.В.Коробкин, А.М.Прохоров, Р.В.Серов, М.Я.Щелев. Письма в ЖЭТФ **11**, 153, 1970.
- [10] А.А.Абрамов, В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, **9**, 675, 1969.
- [11] V. V. Korobkin, V. A. Rorshunov, A. A. Maljutin. *Phys. Lett.* (в печати).
- [12] В.В.Коробкин. УФН, **107**, 512, 1972.
-