

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ОПТИЧЕСКОГО ПРОБОЯ В ЖИДКОСТИ ПО ПАРАМЕТРАМ ВЫНУЖДЕННОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

И.Н. Кожевникова

Получено пороговое условие возникновения оптического пробоя в чистой жидкости при фокусировке лазерного излучения линзой в активную среду.

Схемы с распределенной обратной связью (РОС) широко используются в лазерах на красителях и полупроводниковых генераторах. Обратная связь в них обеспечивается за счет создания в среде периодической структуры показателя преломления и/или коэффициента усиления. Два основных метода создания такой среды – статический и динамический – предопределяют и механизмы их возникновения.

Одним из вариантов реализации динамической РОС с использованием вынужденного рассеяния (ВР) является схема с фокусировкой когерентного лазерного излучения в ВР-активную среду (в данном случае – жидкость) /1, 2/. При определенных условиях из фокальной области вдоль оси наблюдается генерация излучения ВРМБ и ВКР. Порог возбуждения ВР в такой схеме определяется условием РОС-генерации /3/:

$$R \exp(M - \sigma l) \geq 1, \quad (1)$$

где R – параметр обратной связи, т.е. коэффициент отражения "нелинейного" зеркала, роль которого выполняет активная среда; $M = gI_0l$ – полный инкремент усиления (g – стационарный коэффициент усиления, I_0 – интенсивность накачки на входе, l – размер активной области; в случае сфокусированных пучков $l = l_k$ – длина каустики); σ – потери в системе.

Условие (1) легко выполнимо практически во всей спектральной полосе усиления лазера. При превышении мощности накачки выше пороговой интенсивность ВР увеличивается до насыщения, которое совпадает с порогом пробоя жидкости. При достижении порога пробоя сигнал ВР исчезает /2/. Таким образом, формирование мощного излучения ВР из фокальной области может повлиять на работу систем с ВРМБ-зеркалом при интенсивности накачки, превышающей порог пробоя жидкости. В данной работе предлагается метод определения пороговой интенсивности оптического пробоя в жидкости по параметрам вынужденного рассеяния.

Рассмотрим кювету с ВР-активной жидкостью, в которую фокусируется когерентное моноимпульсное лазерное излучение. Система уравнений, описывающих изменение интенсивности встречных взаимодействующих волн накачки (I_H) и стоксовой (I_C) имеет вид /4/:

$$\begin{aligned} dI_H/dz &= g(I_H + 2I_C)I_H, \\ dI_C/dz &= -g(I_C + 2I_H)I_C \end{aligned} \quad (2)$$

с граничным условием на входе $I_H(0) = I_0$, z – направление оптической оси

Система (2) описывает ВР с малым смещением частоты ($\omega_H \approx \omega_C$), что соответствует ВРМБ. В случае ВКР аналогичная система получается для величины потока квантов $j_{H,C} = cn|E_{H,C}|^2 (8\pi\hbar\omega_{H,C})^{-1}$.

Система (2) имеет интеграл

$$I_H I_C (I_H + I_C) = \text{const}. \quad (3)$$

Используя условие генерации ($I_C \gg I_H$), которому удовлетворяют волны на выходе из области взаимодействия, и (3), запишем общее решение системы (2) в виде: $I_H(I) = I_0 [1 - gI_C(I)]^2$. Это соотношение связывает коэффициент отражения нелинейного зеркала (роль которого выполняет кювета с рассеивающим веществом) $R = I_C(I)/I_H(I)$ с выходной интенсивностью накачки I_0 :

$$R = \beta(I) [1 - M\beta(I)]^2, \quad (4)$$

где $\beta(I) = I_C(I)/I_0$ — коэффициент преобразования в ВР. Из (4) следует, что в стационарном случае интенсивность оптической накачки, достаточная для возникновения пробоя жидкости, определяется условием

$$I_0^{\text{пр}} = (\beta I g)^{-1}. \quad (5)$$

Таким образом, зная значение коэффициента преобразования накачки в компоненты ВР, задавая определенную геометрию эксперимента ($l = l_k$ — длина каустики) для ВР-активной жидкости можно априорно определить порог оптического пробоя в жидкости. Для данных эксперимента /2/, в котором фокусировка лазерного излучения проводилась сферической линзой в воду ($g = 0,64 \cdot 10^{-2}$ см/МВт), при положительном выходе ВРМБ $\beta = 0,03 - 0,06$ и длине фокальной перетяжки $l_k = 0,1$ см из (5) находим $I_0^{\text{пр}} = (2,6 - 5,2) \times 10^{10}$ Вт/см², что соответствует экспериментальному порогу пробоя воды в поле лазерного излучения ($I_0^{\text{пр}} = 4 \cdot 10^{10}$ Вт/см²) /2/. В работе /2/ были приняты специальные меры, чтобы избежать влияния самофокусировки. Применение цилиндрической линзы позволяет полностью исключить самофокусировку.

Полученное выражение (5) справедливо для достаточно чистых сред, где практически отсутствуют потери при рассеянии на неоднородностях — коэффициент σ в системе (2) отсутствует. Поэтому полученное пороговое условие позволяет рассматривать пробой как возникновение абсолютной неустойчивости при встречном нелинейном взаимодействии двух волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заскалько О. П., Рудой И. Г. Письма ЖЭТФ, 36, 399 (1982).
2. Тесленко В. С. Письма в ЖТФ, 8, 77 (1982).
3. Ахманов С. А., Ляхов Г. А. ЖЭТФ, 66, 96 (1974).
4. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В. В. Обращение волнового фронта. М., Наука, 1985.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 29 ноября 1988 г.