

**ОБ АНОМАЛЬНОМ ПОВЕДЕНИИ
ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВОГО ПОТОКА В СРЕДЕ
С ДВУМЯ ТИПАМИ ПОГЛОЩЕНИЯ**

Ю. И. Лысков, И. А. Шамсутдинов

(Уфа)

В работе [1] изучено поведение пространственного распределения интенсивности светового потока в аморфной среде, имеющей два типа поглощения: примесями, с последующим быстрым переводом энергии в среду за счет безызлучательных процессов, и самой средой. Поглощение средой вначале отсутствует, но в результате нагрева зоны вокруг примесных центров происходит температурный сдвиг края полосы поглощения и соответствующие участки среды становятся поглощающими. При достаточно больших временах и интенсивностях этот тип поглощения преобладает. Особенности безызлучательных процессов и температурного распределения вокруг примесей достаточно подробно рассматривались в [2, 3]. Ситуация, изученная в [1], соответствует временам, при которых все заселенности успевают выйти на стационарное распределение и изучается зона, далекая от фронта светового потока.

Решение такой задачи без упрощений и в начальные моменты времени, когда нестационарность распределения интенсивности и заселенностей весьма существенна, невозможно аналитически, проведено нами численно. Расчеты обнаружили весьма своеобразное поведение интенсивности светового потока в переходном режиме. Так же, как и в [1], рассмотрим распространение плоскопараллельного монохроматического светового потока, падающего с момента $t = 0$ слева на поверхность рассматриваемой среды, занимающей первое полупространство. Уравнения, описывающие процесс, имеют вид

$$(1) \quad \begin{aligned} \partial U / \partial t + c \partial U / \partial x &= -N_1 \sigma U - N_3 c \sigma_0 U + \alpha N_4 c \sigma_0 U; \\ dN_4 / dt &= c \sigma_0 U (N_3 - N_4); \quad N_3 + N_4 = N_0; \\ \partial N_1 / \partial t &= -N_1 c \sigma U + N_2 / \tau; \quad N_1 + N_2 = N; \\ U(x, 0) &= 0; \quad U(0, t) = U_0; \quad N_1(x, 0) = N; \quad N_3(x, 0) = N_0(x, 0) = 0, \end{aligned}$$

где U — плотность квантов света; N — концентрация примесных центров с сечением фотопоглощения σ ; N_1, N_2 — концентрация примесей в основном и возбужденном состоянии соответственно; N_0 — концентрация поглощающих молекул среды с сечением фотопоглощения σ_0 ; N_3, N_4 — концентрация этих молекул в основном и возбужденном состоянии; τ — время безызлучательной релаксации примеси; c — скорость света в среде. Плотность квантов U связана с интенсивностью света I соотношением $I = c \varepsilon U$, где $\varepsilon = \hbar \omega$ — энергия светового кванта. Величина α введена в (1) для учета части квантов, переизлученных средой в направлении основного потока. Диффузно-рассеянная часть квантов предполагается покидающей рассматриваемую зону и не вносящей вклада в (1). Уравнение для N_4 записано с учетом процессов поглощения и быстрой безызлучательной дезактивации. Для определения N_0 воспользуемся точной формулой (2.3) работы [1]. При этом получим

$$N_0 = (4\pi/3)(3\varepsilon c \sigma U / 8\pi \nu \rho_0)^{3/2} (1 + 3\varepsilon c \sigma U / 8\pi \nu^3 \rho_0 (t - x/c)^2)^{-3/2} N N_c,$$

где N_c — плотность молекул среды; ρ_0 — пороговая плотность колебательной энергии, при которой начинается поглощение средой; v — величина, характеризующая скорость распространения тепла в среде. При расчетах вводились безразмерные величины

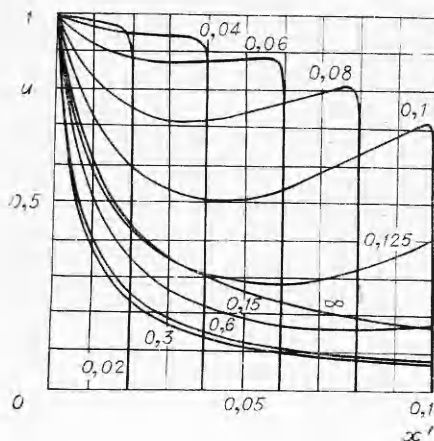
$$u = U/U_0; \quad n_k = N_k/N; \quad t' = N\sigma ct; \quad x' = N\sigma x;$$

$$b = (4\pi/3)(3\epsilon\sigma U_0/8\pi\nu\rho_0)^{3/2}N_c; \quad b_1 = vN_c^{1/3}/\sigma N.$$

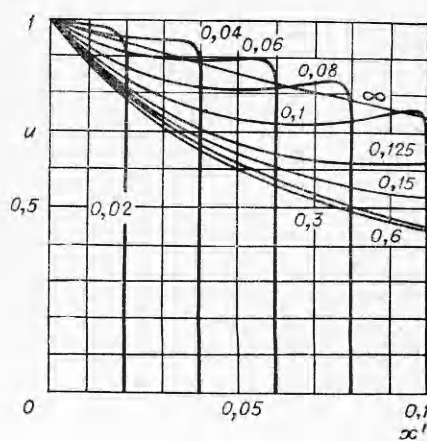
Численное решение (1) проведено на БЭСМ-4М с использованием алгоритма, проверенного на устойчивость и сходимость. Были выбраны следующие значения параметров задачи: $N = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $c = 2 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, $\sigma = 10^{-18} \text{ см}^2$, $\sigma_0 = 10^{-17} \text{ см}^2$, $\tau = 1,25 \cdot 10^{-10} \text{ с}$, $\epsilon = 1,78 \text{ эВ}$, $\alpha = 0,5$, $b_1 = 10$.

На фиг. 1, 2 приведены результаты расчета при $U_0 = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ($b = 31,6$) и при $U_0 = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ($b = 1$) соответственно. Числа возле кривых означают момент безразмерного времени t' , которому соответствует данная кривая. Асимптотическое ($t' = \infty$) значение u получено в предположении стационарности задачи из (1) с использованием численного расчета по методу Рунге — Кутты. Из фиг. 1 (случай $U_0 = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) видно, что на фронте светового потока имеется четко выраженный всплеск интенсивности. Затем интенсивность несколько спадает и снова возрастает у поверхности до своего граничного значения. С удалением фронта потока от поверхности в глубь вещества величина всплеска монотонно убывает. После того, как фронт потока уходит достаточно далеко, пространственное распределение u в рассматриваемой зоне достигает своего минимального значения, а затем медленно возрастает, стремясь к предельному при $t' = \infty$ распределению.

Медленный рост решения после момента $t' \approx 0,3$ определяется запаздывающей релаксацией n_0 и n_4 к своим предельным стационарным значениям (при $t' = \infty$ должно быть $n_4 = n_0/2$, при $t' \approx 0,3$ почти во всей области $x'n_4 \ll n_0$). На фиг. 2 приведены результаты расчета при $U_0 = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Если в первом случае в рассмотренной области x' преобладает поглощение средой, то при $U_0 = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ оба типа поглощения дают одинаковый вклад. Из фиг. 2 видно, что величина всплеска на фронте меньше и общий ход кривых выше, чем на фиг. 1. Последнее объясняется свойством модели [1] саморегулировать поглощение в приповерхност-



Ф и г. 1



Ф и г. 2

ном слое в зависимости от колебаний входной интенсивности таким образом, что значение U на большом расстоянии от поверхности в стационарном случае остается практически неизменным. При этом величина $u = U/U_0$ для достаточно больших t' с убыванием U_0 должна возрастать. Отметим, что расчет стационарной системы (1) по методу Рунге — Кутты дает для отношения значений U в точке $x' = 1$ в случаях U_0 , равного $4 \cdot 10^{16}$ и $4 \cdot 10^{15}$ см⁻³, величину 1, 3, что подтверждает отмеченное свойство модели.

Наличие всплеска на фронте светового потока и особенности его поведения вполне понятны из физических соображений. Поглощение, связанное с разогревом среды до пороговых температур, включается не сразу после прихода потока в данную точку, а с некоторым запаздыванием, вызываемым конечной скоростью разогрева. Поэтому поглощение в первые моменты прихода потока в данную точку происходит в основном на примесях и является более слабым, линейным. По истечении некоторого характерного времени, определяемого параметрами, входящими в выражение для N_0 , участки вокруг примесей успевают нагреться до пороговых температур и включается более сильное нелинейное поглощение средой, приводящее к снижению интенсивности за фронтом потока. Глубина соответствующего снижения зависит от того, насколько поглощение средой преобладает над поглощением примесями, и потому при $U_0 = 4 \cdot 10^{16}$ см⁻³ всплеск на фронте гораздо более четкий, чем в случае $U_0 = 4 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

Факт существования вычисленного выше немонотонного спада интенсивности светового потока в среде в переходном режиме весьма интересен с точки зрения практических приложений как в аспекте решения задачи об удержании интенсивности светового потока в некоторой точке среды в заданных пределах при колебаниях входной интенсивности, так и в смысле возможности получения профилированных импульсов света.

В заключение авторы выражают благодарность С. И. Анисимову за интерес к работе, О. А. Пономареву и Г. М. Мартемьяновой за полезное обсуждение.

Поступила 9 VI 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысиков Ю. И., Пономарев О. А. Об одной модели нелинейного поглощения света. — ПМТФ, 1974, № 1, с. 19—22.
2. Анисимов С. И., Макшанцев Б. И. Роль поглощающих неоднородностей в оптическом пробое прозрачных сред. — ФТТ, 1973, т. 15, вып. 4, с. 1090—1095.
3. Макшанцев Б. И., Ковалев А. А., Леонов Р. К., Ямпольский И. А. Безызлучательные электронные переходы и тепловые эффекты в прозрачных диэлектриках при воздействии лазерного импульса. — ЖТФ, 1974, т. 44, вып. 1, с. 164—172.