

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейник А.Н., Арышев А.С. и др. Стимулированное излучение Смита-Парселла // Письма в ЖЭТФ. – 2004. – Т. 79. – № 7. – С. 396–399.
2. Potylitsyn A.P., Karataev P.V., Naumenko G.A. Resonant diffraction radiation from an ultrarelativistic particle moving close to a tilted grating // Phys. Review E. – 2000. – V. 61. – № 6. – P. 7039–7045.
3. Doucas G., Kimmitt M.F., Brownell J.H., Trotz S.R., Walsh J.E. A new type of high-resolution position sensor for ultra-relativistic beams // Nucl. Instr. and Meth. Phys. Research A. – 2001. – V. 474. – P. 10–18.
4. Haeblerlé O., Rullhusen P., Salomé J.-M., Maene N. Smith-Purcell radiation from electrons moving parallel to a grating at oblique incidence to the rulings // Phys. Review E. – 1997. – V. 55. – № 4. – P. 4675–4683.
5. Aryshev A., Kalinin B., Naumenko G., Potylitsyn A. e.a. Experimental investigation of coherent Smith-Purcell radiation from a «flat» grating // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research B. – 2005. – V. 227. – P. 175–179.
6. Urata J., Goldstein M., Kimmitt M.F. e.a. Superradiant Smith-Purcell emission // Phys. Rev. Letters. – 1998. – V. 80. – № 3. – P. 516–518.
7. Потьлицын А.П., Стриханов М.Н. Резонансное дифракционное излучение ультрарелятивистских частиц // Известия вузов. Физика. – 2002. – № 9. – С. 65–72.
8. Potylitsyn A.P. Resonant diffraction radiation and Smith-Purcell effect // Phys. Letters A. – 1998. – V. 238. – P. 112–116.
9. Smith S.J., Purcell E.M. Visible Light from Localized Surface Charges Moving across a Grating // Phys. Rev. – 1953. – V. 2. – № 4. – P. 1069.

УДК 535.211

САМОВОЗДЕЙСТВИЕ ГАУССОВА ПУЧКА В ЖИДКОФАЗНОЙ МИКРОГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ

В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, А.И. Ливашвили, К.Н. Окишев

Дальневосточный государственный университет путей сообщения. г. Хабаровск
E-mail: kjum@festu.khv.ru*Теоретически рассмотрен нелинейно-оптический эффект самовоздействия гауссова пучка в микрогетерогенной среде с учетом электрострикционной и термодиффузионной нелинейностей.*

Микрогетерогенные среды (суспензии, эмульсии) обладают целым рядом специфических механизмов кубичной нелинейности, обусловленных перераспределением компонент под действием падающего на среду излучения. Концентрационные потоки при этом могут быть вызваны, например, электрострикционными силами [1], термодиффузией [2].

Типичным нелинейно-оптическим эффектом, проявляющимся в средах с кубичной нелинейностью, является самовоздействие излучения, заключающееся, в частности, в образовании ограниченными в поперечном сечении пучками самонаведенной линзы. При этом может наблюдаться как фокусировка излучения (керровская нелинейность) так и дефокусировка (например, тепловое расширение среды). Как правило, линза, наводимая гауссовым пучком, обладает аберрациями, причем стационарное распределение показателя преломления среды может существенно отличаться от гауссова. Искажения пучка можно описывать в двух приближениях: аберрационном и безаберрационном. Во втором случае центральную часть линзы можно приближенно описать эффективным фокусом, в первом же случае задача решается обычно численными методами.

В данной работе получено точное решение, описывающее самонаведенную линзу в микрогетерогенной среде, в которой одновременно действуют два концентрационных механизма нелинейности – электрострикционный [1] и термодиффузи-

онный [2, 3]. Особенность данной задачи состоит в том, что концентрационный и тепловой потоки в среде термодинамически перемешаны.

Рассмотрим гетерогенную среду, состоящую из дисперсионной среды с коэффициентами поглощения $\alpha_{1,2} = \alpha$ и частиц дисперсной фазы с концентрацией C . Полагая толщину слоя среды d малой ($\alpha d \ll 1$), температуру и концентрацию частиц можно считать постоянной по глубине среды. Распределение интенсивности падающего излучения в плоскости слоя имеет вид $I = I_0 \exp(-r^2/\omega^2)$, где ω – радиус гауссова пучка, r – расстояние от центра пучка. В приближении линейной неравновесной термодинамики потоки J_i связаны линейно с термодинамическими силами X_j :

$$J_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} X_j,$$

где L_{ij} – постоянные кинетические коэффициенты.

Изменение концентрации дисперсных частиц находим, решая систему балансных уравнений для концентрации частиц и теплового потока:

$$c_p \rho \partial T / \partial t = -\text{div} J_1 + \alpha I_0 \exp(-r^2/\omega^2), \quad (1)$$

$$\partial C / \partial t = -\text{div}(J_2 + J_3), \quad (2)$$

где T – температура среды, J_1 и J_2 – тепловой и концентрационный потоки соответственно, c_p, ρ – удельные теплоемкость и плотность среды, $J_3 = \gamma C \text{grad} I$ – электрострикционный поток, $\gamma = (2\beta b / cn)$ [1], (β, b –

поляризуемость и подвижность микрочастицы соответственно, c – скорость света, n – показатель преломления среды). Изменения (пространственные) концентраций фаз предполагаем малыми – $(\delta C/C_0) \ll 1$.

Выражения для концентрационного и теплового потоков запишем в следующем виде:

$$J_1 = -D_{11} \text{grad} T - D_{12} \text{grad} C, \\ J_2 = -D_{21} \text{grad} T - D_{22} \text{grad} C,$$

где D_{ij} – кинетические коэффициенты;

$$D_{11} = L_{11}/T^2 - L_{12} \partial(\mu T^{-1})/\partial T, \\ D_{12} = -L_{12} T^{-1} (\partial\mu/\partial C), \\ D_{21} = L_{21}/T^2 - L_{22} \partial(\mu T^{-1})/\partial T, \\ D_{22} = -L_{22} T^{-1} (\partial\mu/\partial C),$$

μ – химический потенциал дисперсных частиц.

В установившемся режиме ($\partial T/\partial t=0, \partial C/\partial t=0$), интегрируя (1, 2) в цилиндрической системе координат, получаем выражение для концентрации частиц и распределения температуры:

$$C = C_0 + (I_0/4D^*) \{ \gamma D_{11} C_0 + \\ + \alpha D_{21} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k (r^2/\omega^2)^k / k! \}, \quad (3)$$

$$T = T_0 + \gamma C_0 D_{12} \{ \exp(-R^2/\omega^2) - \exp(-r^2/\omega^2) \} / D^* + \\ + \alpha I_0 D_{22} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \{ (r^2/\omega^2)^k - (R^2/\omega^2)^k \} / D^* k!, \quad (4)$$

где C_0 – средняя концентрация частиц, R – радиус цилиндрической кюветы с гетерогенной средой, $D^* = (D_{11} D_{22} - D_{12} D_{21})$ и использовано граничное усло-

вие $T(R) = T_0$. Полученное выражение позволяет рассчитать параметры гауссова пучка после прохождения слоя среды (в приближении слабой фазовой модуляции). В частности, в параксиальном приближении, разлагая (3), имеем для показателя преломления среды n (n_0 – средний показатель преломления в отсутствии излучения):

$$n \approx n_0 + I_0 (\gamma D_{11} C_0 (1 - r^2/\omega^2) - D_{21} \alpha r^2) (\partial n/\partial C) / 4D^*.$$

В слое среды толщиной d образуется тонкая линза с фокусом f :

$$f \approx 4D^* / d I_0 (\gamma D_{11} C_0 + D_{21} \alpha) \omega^{-2} (\partial n/\partial C).$$

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Во-первых, в микрогетерогенной среде, состоящей даже из прозрачных ($\alpha=0$) компонент при наличии ненулевых коэффициентов (D_{21}, D_{12}), электрострикционные потоки вызывают модуляцию температуры (4) и, соответственно, тепловые эффекты (например, тепловое расширение), которые могут полностью маскировать электрострикционный отклик. Во-вторых, пространственную модуляцию температуры среды необходимо учитывать при исследовании электрострикционной нелинейности в критических микроэмульсиях вблизи фазового перехода, где кинетические коэффициенты среды сильно зависят от температуры. В-третьих, электрострикционный и термодиффузионный отклики среды могут как усиливать, так и ослаблять друг друга в зависимости от знаков коэффициентов термодиффузии и электрострикции. Полученные выражения позволяют более точно рассчитать характеристики микрогетерогенной среды из экспериментальных данных о параметрах самонаведенной тепловой линзы [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith P.W., Maloney P.J., Ashkin A. Use a liquid suspension of dielectric spheres as an artificial Kerr medium // Opt. Lett. – 1982. – V. 7. – P. 347–349.
2. Бергер Н.К., Иванов В.И., Суходольский А.Т. О применении капиллярного термофореза в динамической голографии // Краткие сообщения по физике ФИАН СССР. – 1988. – № 10. – С. 11–14.
3. Ivanov V.I., Karpets Yu.M. Thermocapillary mechanism of laser beam self-action in a two component medium // Proc. SPIE. – 2000. – V. 4341. – P. 210–217.
4. Vicary L. Pump-probe detection of optical nonlinearity in water-in-oil microemulsion // Philos. Mag. B. – 2002. – V. 82. – № 4. – P. 447–452.